

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Návrh kalibračního stroje

Design of Calibration Machine

Student:

Martin Štefek

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Štefek**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace: 70 Zemní, těžební a stavební stroje
Téma: **Návrh kalibračního stroje**
Design of Calibration Machine
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

V rámci bakalářské práce zpracujte rešerši/analýzu dané problematiky. Navrhněte kalibrační stroj sloužící jako mezioperace v procesu výroby vlnovců. Účelem navrženého stroje by mělo být především odstraňování vnitřního pnutí a úprava jmenovité délky vlnovce na předepsaný rozměr dle technické dokumentace. Z vypracovaných variantních řešení vyberte optimální řešení, které podpoříte potřebnými pevnostními, kinematickými nebo provozními výpočty. K řešení vypracujte technickou dokumentaci. Bližší specifikace provozních podmínek a parametrů určí zadavatel - Witzenmann Opava, s.r.o.

Seznam doporučené odborné literatury:

PAVLOK, Bohuslav. *Hydraulické prvky a systémy. Díl 2, Řídicí prvky hydrostatických systémů, příslušenství hydrostatických obvodů*. Ostrava: VŠB-TUO, 2008. ISBN 978-80-248-1827-6.
JEŘÁBEK, K. *Metodika navrhování strojů*. 1. vydání, Praha: Ediční středisko ČVUT v Praze, 1999. 119 s.
KALÁB, K. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře - části spojovací*. Ostrava: Ediční středisko VŠB-TUO, Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1290-8
BOLEK, A. a kol. *Části strojů*. Praha: SNTL Praha, 1990.
ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36s.
ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: ČNI, srpen 1996. 32s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020

doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 18. května 2020.

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на вѣдомі, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato bakalářská*) práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne

.....

Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Martin Štefek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Olomoucká 71, Opava 746 01

ANOTACE BAKALAŘSKÉ PRÁCE

ŠTEFEK, M. *Návrh kalibračního stroje: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2020, 72 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Fries Jiří, Ph.D

Bakalářská práce se zabývá konstrukčními návrhy kalibrovacího stroje pro mezioperaci vlnovců při výrobě. Práce také obsahuje rešerši, která pojednává o procesu výroby vlnovců, vlastnostech vlnovců a uplatnění vlnovců. Veškeré vstupní informace, podmínky, poklady poskytla firma Witzenmann Opava, s.r.o., kde firma je zároveň i zadavatelem bakalářské práce. Z konstrukčních návrhů si firma vybrala jeden návrh. Vybraný návrh je podložen pevnostními výpočty. Na závěr práce je návrh podroben MKP analýze prostřednictvím CAD softwaru.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

ŠTEFEK, M. *Design of calibration machine: bachelor thesis*. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2020, 72 pp. Thesis supervisor: doc. Ing. Fries Jiří, Ph.D

The bachelor's thesis deals with the design of calibration machine for the intermediate operation of bellows during production. The work also contains a search that discusses the process of production of bellows, the properties of bellows and the application of bellows. All input information, conditions, treasures were provided by the company Witzenmann Opava, s.r.o. where the company is also the client of the bachelor's thesis. The company chose one design from the design proposals. The selected design is based on strength calculations. At the end of the work the design is subjected to FEM analysis using CAD software.

Poděkování

Tímto bych chtěl velice poděkovat vedoucímu bakalářské práce, panu doc. Ing. Jiří Friesovi, Ph.D za věcné rady, vstřícnost, trpělivost a věnovanému času při vypracování mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě Witzenmann Opava, s.r.o. a jejím zaměstnancům za cenné rady a pomoc při zpracování bakalářské práce.

1	SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK.....	8
2	ÚVOD.....	10
3	REŠERŠE	11
3.1	VLNOVEC	11
3.2	PROCES HYDROFORMOVÁNÍ	12
3.3	VÝHODY HYDROFORMOVÁNÍ.....	12
3.4	HYDROFORMOVÁNÍ PLECHU	13
3.5	HYDROFORMOVÁNÍ TRUBEK.....	15
3.6	VÝHODY VLNOVCŮ	16
3.7	DALŠÍ UPLATNĚNÍ VLNOVCŮ	18
4	KONSTRUKČNÍ NÁVRHY	20
4.1	POHON A PÁKOVÝ MECHANISMUS	21
4.2	ULOŽENÍ VLNOVCŮ.....	33
4.3	MECHANISMUS DOVŘENÍ	36
5	METODA KONEČNÝCH PRVKŮ (MKP)	63
6	ZÁVĚR	68
7	SEZNAM PŘÍLOH	69
8	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	70

1 Seznam použitých značek

β	Součinitel tloušťky koutového svaru	[-]
σ_{Dov}	Dovolené ohybové napětí	[MPa]
σ_{oE}	Ohybové napětí v bodě E	[MPa]
σ_{oH}	Ohybové napětí v bodě H	[MPa]
$\sigma_{Red E}$	Redukované napětí v bodě E	[MPa]
$\sigma_{Red F}$	Redukované napětí v bodě F	[MPa]
$\sigma_{Red H}$	Redukované napětí v bodě H	[MPa]
$\sigma_{Red E}^S$	Redukované napětí svaru v bodě E	[MPa]
$\sigma_{Red F}^S$	Redukované napětí svaru v bodě E	[MPa]
τ_{Dov}	Dovolené napětí ve smyku	[MPa]
τ_{\perp}^{FPz}	Napětí ve smyku svaru od síly F_{Pz}	[MPa]
$\tau_{\perp}^{M_o}$	Ohybové napětí svaru	[MPa]
τ_{SA}	Napětí ve smyku v bodě A	[MPa]
τ_{SB}	Napětí ve smyku v bodě B	[MPa]
τ_{SC}	Napětí ve smyku v bodě C	[MPa]
τ_{SD}	Napětí ve smyku v bodě D	[MPa]
τ_{SE}	Napětí ve smyku v bodě E	[MPa]
$\tau_{S\check{s} deska}$	Napětí ve smyku šroubu desky mechanismu	[MPa]
$\tau_{S\check{s}k}$	Napětí ve smyku šroubu konzoly	[MPa]
a	Velikost ramene a	[mm]
A	Čep v bodě A	[mm]
b	Velikost ramene b	[mm]
B	Čep v bodě B	[mm]
b_a	Délka čepu v bodě A	[mm]
b_b	Délka čepu v bodě B	[mm]
b_c	Délka čepu v bodě C	[mm]
b_d	Délka čepu v bodě D	[mm]
c	Velikost ramene c	[mm]
C	Čep v bodě C	[mm]
d	Velikost ramene d	[mm]
D	Čep v bodě D	[mm]

e	Velikost ramene e	[mm]
E	Čep v bodě E	[mm]
f	Velikost ramene f	[mm]
F	Čep v bodě F	[N]
F ₀	Síla od vzduchového válce při maximálním tlaku	[N]
F ₁	Síla na pákovém mechanismu	[N]
F ₂	Síla na pákovém mechanismu	[N]
F _H	Síla působící na čep v horní čelisti	[N]
F _p	Síla vzduchového válce při provozním tlaku	[N]
F _{Pz}	Síla od vzduchového válce zavírání	[N]
g	Velikost ramene g	[mm]
h	Velikost ramene h	[mm]
I _{sv}	Kvadratický moment	[mm ⁴]
k	Vzdálenost ramene k	[mm]
k ₁	Součinitel bezpečnosti	[-]
p	Provozní tlak	[MPa]
p _a	Tlak na čep v bodě A	[MPa]
p _b	Tlak na čep v bodě B	[MPa]
p _c	Tlak na čep v bodě C	[MPa]
p _{D2}	Dovolený tlak na otláčení	[MPa]
p _{kom}	Tlak kompresoru	[MPa]
S _{sv}	Sklopený průřez svarové plochy	[mm ²]
t	Tloušťka svaru	[mm]
W _o	Průřezový modul v ohybu	[mm ³]
Ød _{ča}	Průměr čepu v bodě A	[mm]
Ød _{čb}	Průměr čepu v bodě B	[mm]
Ød _{čc}	Průměr čepu v bodě C	[mm]
Ød _{čd}	Průměr čepu v bodě D	[mm]
Ød _{če}	Průměr čepu v bodě E	[mm]
ØD _{p1}	Průměr vzduchového válce	[mm]
ØD _{p2}	Průměr vzduchového válce	[mm]

2 Úvod

Mým cílem bakalářské práce bylo navrhnout konstrukční návrhy kalibračního stroje, který slouží jako mezioperace ve výrobě vlnovců. Navrhl jsem dva mechanismy, které budou zajišťovat a dovírat čelisti kalibrovacího stroje. A tím zajistí dokonalé sevření čelistí. Nedokonalé sevření čelisti, by vznikala nežádoucí vůle mezi dosedací části čelistí. Vlnovce, které se na tomto stroji budou především kalibrovat, se používají jako mezičlánek do soustavy vedení EGR systému.

Na začátku práce se zabývám metodou Hydroformování, tato metoda se v dnešní době nejvíce využívá k výrobě vlnovců, složitých plechů a trubek. V rešerši jsem popsal postup Hydroformování při výrobě složitých plechů a výrobě trubek. Na konci rešerše se zmiňuji o výhodách a uplatnění vlnovců.

V poslední části práce se již zabývám konstrukčními návrhy, které jsem nadále podložil potřebnými pevnostními výpočty. Na závěr pevnostních výpočtu jsem provedl pevnostní analýzu, kde jsem mnou navržený mechanismus podrobil adekvátnímu zatížení.

3 Rešerše

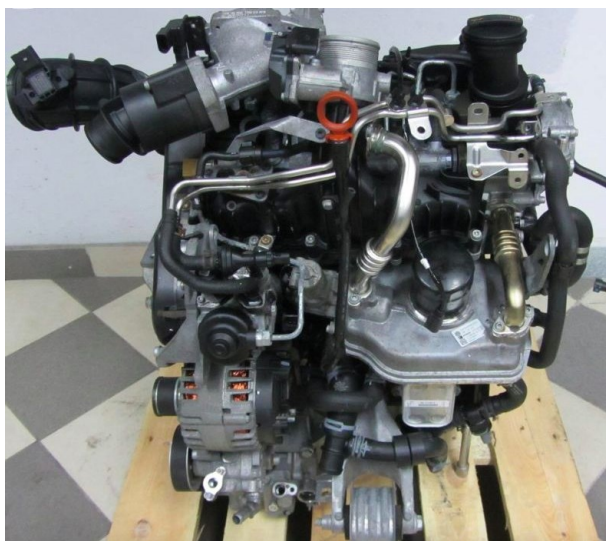
3.1 Vlnovec

Vlnovec je tenkostěnná trubka, na jejímž povrchu je utvořené zvlnění. Vlnovce jsou výhradně těsné. Používají se k vedení kapalin, podtlakovému vedení plynů, jako může být například systém zpětného vedení výfukových plynů u automobilu. Díky zvlnění se z vlnovce stává jedinečný komponent s širokým uplatněním, jak v automobilovém průmyslu, tak i v jiných důležitých průmyslových odvětvích, jako například jaderný, letecký, chemický či medicínský průmysl [3]. Za široké uplatnění vděčí vlnovec svým jedinečným vlastnostem, jako jsou:

- nepřenos vibrací
- eliminace tepelné roztažnosti
- kompenzace axiálních sil, vyosení a úhlové vychýlení
- tvarová poddajnost

Vlnovce se vyrábí, jak mechanickým tvářením, tak hydraulickým tvářením. Dnes se nejčastěji využívá pro výrobu vlnovců technologie, která funguje na principu nestlačitelnosti kapalin, tzn. Hydroformování.

Hydroformování se řadí mezi nekonvenční metody tvářením. První myšlenky k využití kapalin, především hydraulických olejů k tvářením kovů, se objevují v 70. letech 20. století [2]. Avšak největší rozmach technologie byl uskutečněn v 90. letech. V té době se začal rychlým tempem rozvíjet automobilový průmysl. Na Obr. 1 je znázorněno umístění vlnovců na motoru automobilu. To mělo za význam kladení větších požadavků na mnohem složitější tvarové díly [2].



Obr. 1 Motor Volkswagen [21]

3.2 Proces Hydroformování

Princip tváření závisí na Pascalově zákoně. Tlak v kapalině se šíří ve všech směrech a stejnou silou. Založení polotovaru do formy, která budoucímu výlisku dodá požadovaný tvar. Výlisky mohou mít libovolný tvar, jak je znázorněno na Obr.2. Kapalina je přiváděna mezi formu a polotovar. Zapotřebí je dosažení požadovaného tlaku, který je nutný k tomu, aby došlo k tváření materiálu, a také ke správnému přilehnutí polotovaru na všechna místa formy stejným tlakem. Tím dojde k dokonalému přenesení tvaru formy na polotovar. K vyvolání požadovaného tlaku slouží hydraulické čerpadlo, které nesmí vyvinout tlak, jenž bude větší tlaku, než kterým je forma sevřena. Pokud by nastalo, že tlak použitý k formování bude větší, než tlak, který udržuje formu sevřenou, dojde k jejímu rozevření a ztrátě těsnosti. Tato chyba bude mít vliv na to, že nedojde k optimálnímu přenesení tvaru formy na polotovar.



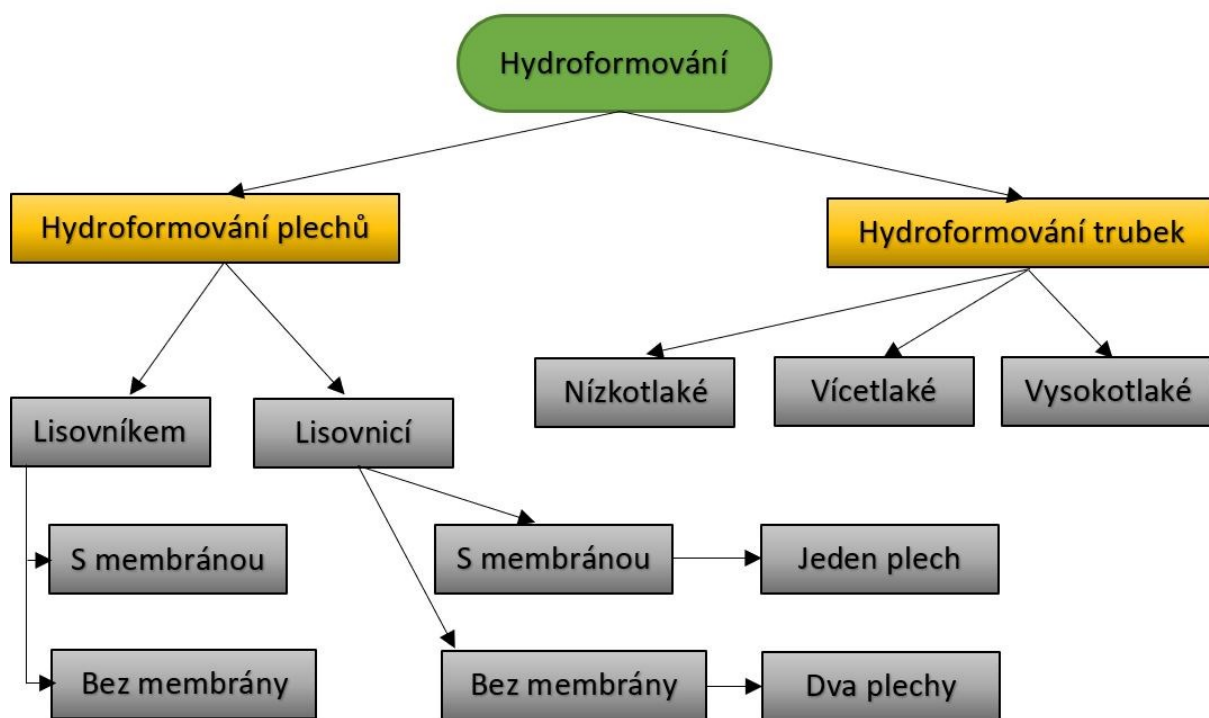
Obr. 2 Výrobky vyrobené pomocí Hydroformování [2]

3.3 Výhody Hydroformování

Výhody Hydroformování jsou: 1) vlastnost rovnoměrné deformace polotovaru 2) umožňuje výrobu složitých, náročných tvarových ploch s různorodými tvary, které by za použití konvenčních metod byly nevyrobitelné, popřípadě při výrobě, za použití obyčejného lisovacího nástroje, by mohlo docházet k trhlinám na povrchu. Součást, která je vyráběna pomocí této technologie, dosahuje vyšší pevnosti, zároveň není nutno v mezioperacích součást žíhat [2]. Ve většině případů, za použití Hydroformování, jsou výrobky vyráběny pouze na jednu operaci. Další

výhodou je kvalita zpracování povrchu, která je vysoká. Tato výhoda je schopna snížit výrobní náklady na nástroje až o 90 % [2].

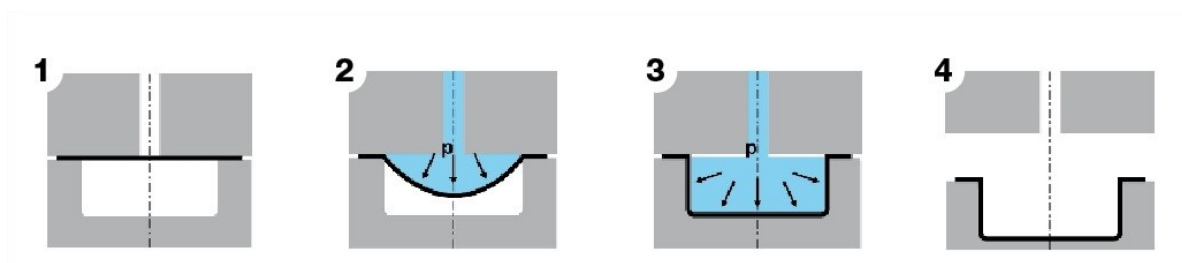
Hydroformování můžeme rozdělit do několika skupin (Obr. 3). Nejzákladnějším je rozdělení podle tvaru, a to na tváření plechu nebo trubek.



Obr. 3 Rozdělení Hydroformování [1]

3.4 Hydroformování plechu

Plechových dílů, které jsou vyráběny pomocí technologie Hydroformování, tzv. Hydroforming, je nespočetné množství. Postup při Hydroformování je znázorněn na Obr. 4. Především se jedná o dílce tak tvarově složité, jako jsou například jednotlivé plechové součásti automobilů, různě designově složité plechové výlisky v domácnosti [4].



Obr. 4 Hydroformování plechu [11]

Lze podotknout, že výroba plechových výlisků pomocí Hydroformingu probíhá v podstatě na stejném principu, jako je tomu u lisovaných součástí. K vyhotovení konečného dílu, jak za pomoci lisování, tak Hydroformingu, je potřeba nástroj. V obou případech tuto činnost zastává forma, která dodá požadovaný tvar součásti. Dále je zapotřebí tvářecí síla, ta může být zastoupená hydraulickým lisem nebo mechanickým lisem. Narozdíl u Hydroformingu je hlavní tvářecí síla vyvinutá kapalinou. Forma se skládá ze dvou částí. První částí je základní deska, která tvoří základní dělicí rovinu. V základní desce je umístěn vtokový kanál, kterým je přiváděna kapalina do prostoru formy. Druhá část formy má již požadovaný tvar výlisku. Polotovar je umístěn na základní desku. Následně druhá část formy je za pomoci lisu přitlačována na základní desku, aby bylo dosaženo dokonalého sevření obou částí forem, za účelem vytvoření dokonalé těsnosti.

Technologii je vhodné použít pro tvarově složité díly (Obr. 5), s kombinací různorodých tvarů, u kterých by hrozilo vzniknutí trhlin při použití obyčejného lisovacího nástroje [4]. Při tváření kapalinou jsou tyto součásti vyrobitelné, a k tomu většinou jen na jednu operaci [4].



Obr. 5 Část výfukového systému u automobilu tváření pomocí Hydroformingu [12]

3.5 Hydroformování trubek

Tváření trubek pomocí Hydroformingu probíhá úplně stejně jako je tomu při tváření plechu pomocí Hydroformingu. Výsledný tvar dodává trubce forma, jenž je tvořená taktéž dvěma částmi, rozdělená dělicí rovinou. Dolní část formy je uložena pevně. Horní část formy je pohyblivá pouze v ose kolmé na spodní část formy. Pohyb horní části formy zajišťuje lis, a zároveň zajišťuje správné sevření obou částí forem, aby nedošlo během procesu tváření k jejich rozevření. Na Obr. 6 jsou uvedeny výrobky, které jsou vyrobeny pomocí Hydroformingu.

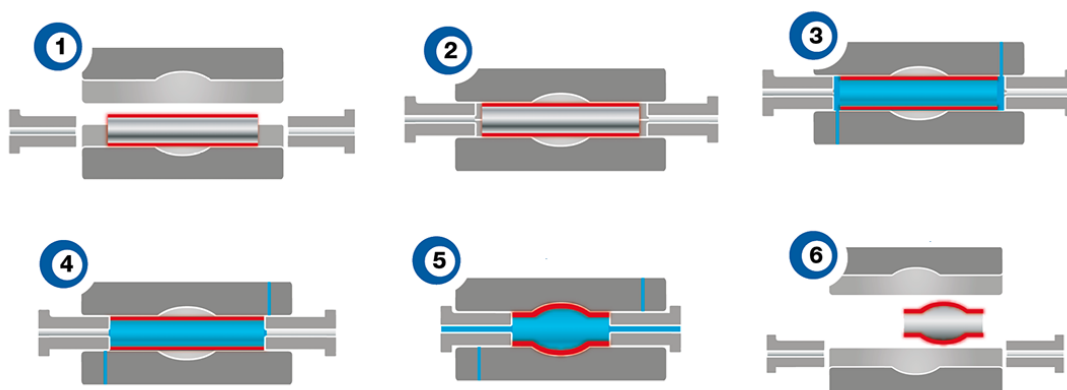


Obr. 6 Díly vyráběné pomocí Hydroformingu [13], [14]

Polotovary pro tváření kapalinou mohou být použity jak švové, bezešvé trubky, tak nepravidelné duté profily, kuželové díly. Avšak mohou mít nepravidelnou tloušťku stěn. Technologie umožňuje, aby díly mohly mít přímou nebo lomenou osu [1].

Pomocí zvyšujícího se tlaku, vyvolaného kapalinou v trubce, dochází k vytvarování součásti do konečného tvaru. Materiál je nejen utěsněn pomocí nástrčného trnu, přes který je kapalina dopravována, ale během procesu je materiál, se zvětšujícím se tlakem, postupně pomocí trnu vtlačován do formy. Vtlačování je prováděno v důsledku natahování materiálu, a tím vznikají

zeslabená místa, ve kterých by mohlo docházet k trhlinám [4]. Znázorněný postup Hydroformování trubek je na Obr. 7.



Obr. 7 Postup Hydroformování trubek [15]

K výrobě tvarově složitých dílů, jako jsou například vlnovce, se používají dodatečné segmentové nástroje [1]. Do pracovního prostoru je vložen polotovar. Nástroj sevře trubku a současně, s pohybem horní a spodní části lisovacího nástroje proti sobě, je do trubky přiváděná kapalina. Dále jsou segmenty, jak v horní, tak spodní části, stlačeny v ose dílu. Po dokončení sevření formy a stlačení segmentu, je zvýšen tlak kapaliny, který má za následek kalibrovat tvar tak, aby bylo dokonalé přenesení tvaru formy na výrobek [1].

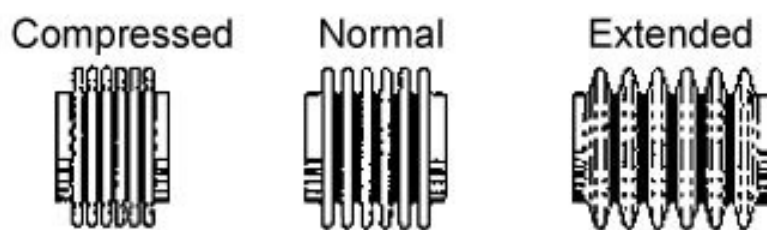
3.6 Výhody vlnovců

Výhodou vlnovců je schopnost zabránění přenosu vibrací. Tato vlastnost je využívána ve výfukové soustavě u automobilů, kdy na začátku výfukového systému je umístěn vlnovec, který eliminuje a zabraňuje šíření vibrací od motoru do celého výfukového systému. Pro toto použití je vlnovec opatřen vnitřním a vnějším opletem, který zlepšuje mechanické a izolační vlastnosti. Vlnovec s opletem je zobrazen na Obr. 8. Oplet lze vyrábět přímo na vlnovci na stroji, popřípadě nezávislého návleku [5].

Vůle mezi jednotlivými vlnami vlnovce umožňuje osové stlačení vlnovce, délka stlačení může činit až 60 % vlnovce [6]. Uplatnění je nutné například u potrubí, kde v závislosti na teplotní roztahitelnosti, se potrubí roztahuje a smršťuje. Vlnovec je díky své pružnosti schopen zachytit rozdíly mezi smršťováním a roztahováním potrubí.

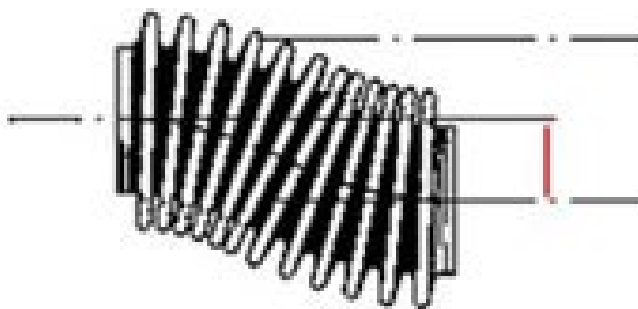


Obr. 8 Vlnovec s opletem v řezu [16]



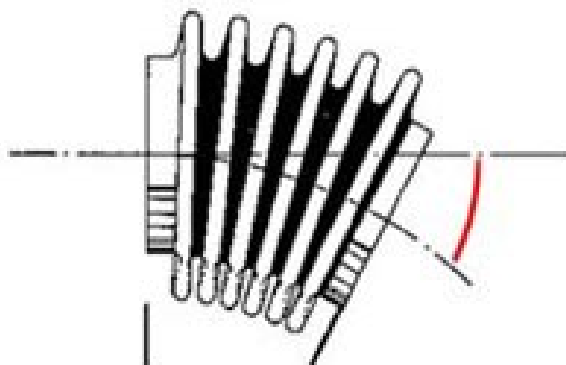
Obr. 9 Osově stlačení vlnovců [7]

Osově vychýlení, někdy zvané jako boční vychýlení (Obr. 10), je zapříčiněno vychýlením počátku a konce z osové souměrnosti. Tato vlastnost je využívána v místech, u kterých je předpoklad bočního vychýlení.



Obr. 10 Boční vychýlení [7]

Vlny vlnovce mohou být namáhány nejen na osově stlačení, vychýlení os, ale také na ohyb. Ohyb vzniká při ohýbání středové osy libovolným směrem. Tahle vlastnost je znázorněná na Obr. 11. Avšak ohnutí vlnovce je definováno délkou, průměrem a charakteristikou vlny vlnovce. Přidáním vlnovce do soustavy pozitivně ovlivní jak montáž, protože díky své pružnosti je snazší montáž celé soustavy, tak díky své elastice zastává funkci tlumiče, který kompenzuje teplotní roztažitelnost, tlumí vibrace, rázy a vychýlení vlnovce a chrání tak celou soustavu před deformacemi, netěsnostmi a trhlinami v celém vedení jak plynu, tak kapalin.

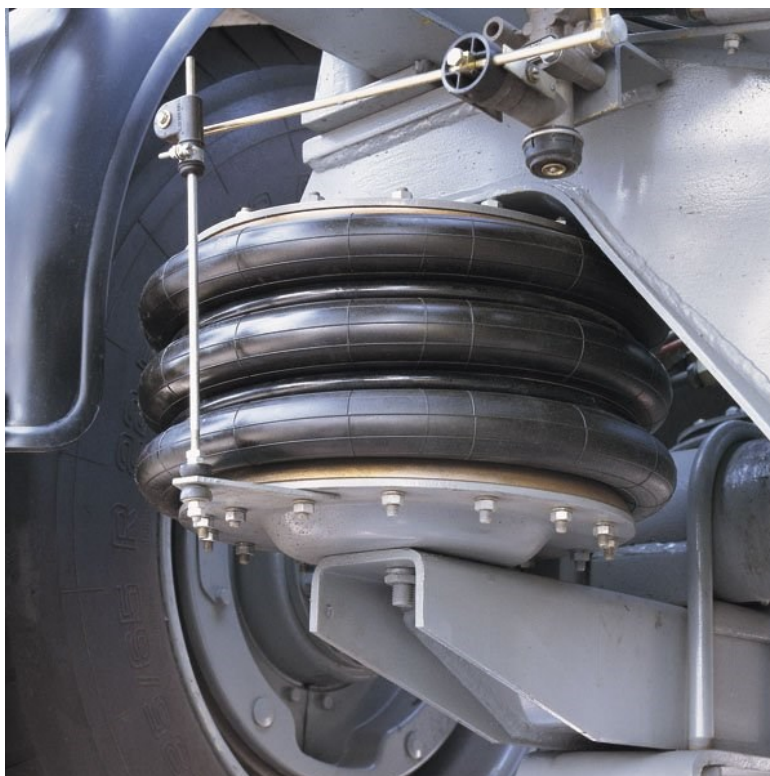


Obr. 11 Úhlové vychýlení [7]

3.7 Další uplatnění vlnovců

K pneumatickému odpružení náprav, nepřenosu vibrací od podvozků u vozidel, je nejrozšířenější vlnovcová pružina, která nejen dokáže zachytit pohyb v ose pružiny, ale také do lehké míry ve směru kolmém na osu pružiny. Na Obr. 12 je odpružení nápravy nákladního vozidla pomocí vlnovcové pružiny.

Vlnovcová pružina, neboli vzduchový měch, je tvořena z pryžového obalu, který tvoří hlavní pružnou část mechu, navíc je vyztužena podélnými textilními kordy, které zvýší mechanické vlastnosti. Měchy jsou mezi jednotlivými vlny obepnuty kroužky. Ty mají za úkol, aby vlnovec neztratil svůj tvar a nedošlo k vypuknutí vlny při vyšších tlacích [8]. Kroužky mohou být vyráběny z pryže, oceli, plastu. Na obou koncích vlnovcové pružiny jsou ocelové příruby, které utěsní měchy. Přívod vzduchu je umístěn v horní přírubě [8].



Obr. 12 Vlnocová pružina [17]

Vlnocové spojky dokážou přenést kroutící moment až do 100 000 Nm pro hřídele o maximálním průměru 280 mm. Spojky jsou využívány tam, kde je potřeba dosáhnout přesné polohy spojovaných hřídelů a dynamický pohyb hřídelí, kde dochází k výchylkám v bočních, axiálních a úhlových směrech. Tomu může být například u pohonů obráběcích strojů, ve větrných elektrárnách [9]. Vlnocové spojky se vyrábějí hned v několika velikostech, jak je možno vidět na Obr. 13.



Obr. 13 Vlnocová spojka [19]

4 Konstrukční návrhy

V této části mé práce se již zaměřím na konstrukční návrhy kalibrovacího stroje. Při výrobě vlnovců, ve firmě Witzenmann Opava, s.r.o., je jedna z operací v technologickém postupu odstranění vnitřního pnutí a následná kalibrace délky vlnovce na předepsanou délku v technické dokumentaci. Požadavkem firmy bylo zdvojnásobit kalibraci vlnovců na jednom stroji.

Mé vstupní hodnoty jsou, velikosti vlnovců, které se budou na stroji kalibrovat a tlak vzduchu, který je v síti.

Vypracoval jsem dva návrhy, zaměřil jsem se především na mechanismus, který bude zajišťovat, aby při procesu kalibrace vlnovců nedocházelo k rozevření čelisti. Následná vzniklá vůle mezi čelistmi by měla za následek nepřesnost výroby. Především vzniklá nepřesnost v důsledku rozevření čelisti, by se mohla projevit na obou současně kalibrovaných vlnovcích. Na Obr. 14 jsem znázornil pohon a pákový mechanismu, který bude pohybovat z horní čelisti.

Data podléhají utajení a jsou k dispozici u vedoucího bakalářské práce doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Obr. 14 Pákový mechanismus

4.1 Pohon a pákový mechanismus

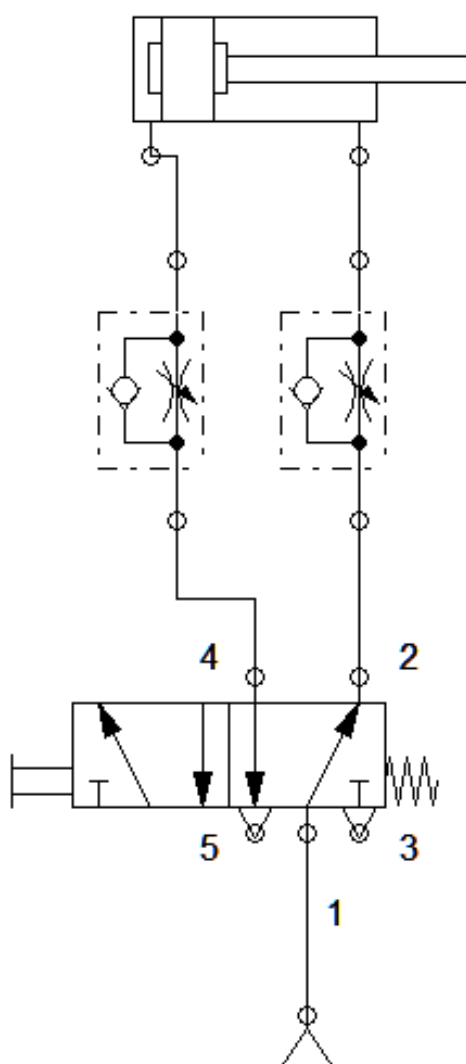
Jako pohon jsem zvolil vzduchový válec DSNU-25-70-PPV od firmy FESTO (Obr. 15). Parametry zvoleného válce jsem uvedl v Tab. 1. Navrhnul jsem jednoduchý pneumatický obvod, kde schéma zapojení jsem naznačil na Obr. 16. Pro řízení rychlosti zasouvání a vysouvání pístnice. Stlačený vzduch vstupuje ze zdroje stlačeného vzduchu vstupním kanálem do ventilu a dále do dvoučinného vzduchového válce a drží pístnici v zasunuté poloze. Stisknutím tlačítka se 5/2 ventil (Obr. 17) přestaví a pístnice pneumatického válce se vysune, uvolněním tohoto tlačítka dojde k přestavení pružiny a 5/2 ventil se přesune do výchozí polohy, dojde tedy k zasunutí vzduchového válce. Rychlost pohybu pístnice se reguluje pomocí škrtících ventilů, které jsou doplněny vestavěnými zpětnými ventily. Při průchodu vzduchu v opačném směru se tlakem vzduchu otevře zpětný ventil, stlačený vzduch proudí plným průřezem zpětného ventilu.



Obr. 15 Vzduchový píst FESTO DSNU-25-70-PPV [22]

Tab. 1 Parametry hlavního pístu

Vzduchový válec FESTO DSNU-25-70-PPV		
Průměr vzduchového válce	$\varnothing D_{P1}$	25 mm
Průměr pístnice	$\varnothing d_{P1}$	10 mm
Zdvih pístu	L_{P1}	70 mm
Maximální tlak	P_{Max1}	1 MPa
Maximální síla vzduchového válce	F_{Max1}	491 N



Obr. 16 Schéma zapojení vzduchového válce



Obr. 17 5/2 ventil [25]

Tlak p je tlak provozní, který nemá stejnou hodnotu jako tlak, který vyvine kompresor. Proto je nutné ve výpočtech počítat s tlakem vyvinutým kompresorem, nikoliv s provozním tlakem stroje. Provozní tlak je nastaven na 0,6 MPa, přičemž výstupní tlak kompresoru je 1 MPa. Je třeba brát v potaz, že vzduchový válec je také nadimenzován na určitý maximální tlak. V tomto případě zvolený vzduchový válec je dimenzován na maximální tlak 1 MPa. Tento tlak je shodný s tlakem kompresoru.

Výpočet tlačné síly pístu F_p při provozním tlaku:

$$p = \frac{F}{S} \quad (1)$$

$$F_p = S \cdot p = \frac{\pi \cdot D_{P1}^2}{4} \cdot p$$

$$F_p = \frac{\pi \cdot 25^2}{4} \cdot 0,6 = 300 \text{ N}$$

Výpočet tlačné síly pístu F_0 při výstupním tlaku kompresoru:

Ze vztahu (1) si vyjádřím F_0 :

$$F_0 = S \cdot p_{kom} = \frac{\pi \cdot D_{P1}^2}{4} \cdot p_{kom}$$

$$F_0 = \frac{\pi \cdot 25^2}{4} \cdot 1 = 491 \text{ N}$$

Výsledky mezi F_p a F_0 jsou rozdílné téměř o 200 N. Z výsledku je patrné, že je nutné počítat s maximálním tlakem, který může nastat. Kdyby bylo počítáno pouze s provozním tlakem p , a z nějakého důvodu, např. neodborným zásahem do vedení vzduchu od kompresoru po vzduchový válec, by došlo k navýšení provozního tlaku na tlak kompresoru. Navržené čepy by tímto mohly být poškozeny.

Abych ověřil, zda navržené čepy přenesou zatížení, vyvolané vzduchovým válcem, je nutné provést kontrolu na střih čepů a otláčení, protože se jedná o pákový mechanismu a síly F_0 , F_1 a F_2 jsou rovnoběžné, lze proto výpočet provést pomocí momentů, které vyvolává vzduchový válec a dále jej přenáší pákový mechanismus. Tyto síly vzniknou v krajní poloze mechanismu a naznačil jsem je na Obr. 18.

Data podléhají utajení a jsou k dispozici u vedoucího bakalářské práce doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Obr. 18 Zjednodušený výpočtový model

Výpočet síly F_1 :

$$F_0 \cdot a = F_1 \cdot b \quad (2)$$

$$F_1 = \frac{F_0 \cdot a}{b}$$

$$F_1 = \frac{491 \cdot 57,5}{23} = 1\,228\,N$$

Výpočet síly F_2 :

$$F_1 \cdot c = F_2 \cdot d \quad (3)$$

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot c}{d}$$

$$F_2 = \frac{1\,228 \cdot 46}{140} = 404\,N$$

Tab. 2 Dovolená napětí materiálů [20]

Materiál	σ_{D0} [MPa]	τ_D [MPa]	p_{D1} [MPa]	p_{D2} [MPa]
11 373	70	50	20	100
11 423	80	60	20	110
11 500	100	70	30	120
11 600	120	80	30	140

Čep v bodě A:

V tomto bodě čep zachytává pouze sílu vyvolanou vzduchovým válcem. Čep bude svařován s deskou pro upevnění pístu, proto jsem zvolil materiál 11 423. U této oceli je zaručená svařitelnost. Pro lepší představivost jsem uložení čepu znázornil na Obr. 19 a 20.

Data podléhají utajení a jsou k dispozici u vedoucího bakalářské práce doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Obr. 19 Umístění desky pro uložení vzduchového válce

Data podléhají utajení a jsou k dispozici u vedoucího bakalářské práce doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Obr. 20 Čep v bodě A

Kontrola na stříh:

$$\tau_{SA} = \frac{F_0}{S} \quad (4)$$

$$\tau_{SA} = \frac{F_0}{\frac{\pi \cdot d_{\check{c}a}^2}{4}}$$

$$\tau_{SA} = \frac{491}{\frac{\pi \cdot 8^2}{4}} = 9,77 MPa$$

$$\tau_{SA} \leq \tau_{Dov} \quad (5)$$

$9,77 \leq 60 \rightarrow$ podmínka splněna \rightarrow vyhovuje

Kontrola na otláčení:

$$p_a = \frac{\frac{F_0}{2}}{b_a \cdot d_{\check{c}a}} \quad (6)$$

$$p_a = \frac{\frac{491}{2}}{10 \cdot 8} = 3 MPa$$

$$p_a \leq p_{D2} \quad (7)$$

$3 \leq 110 \rightarrow$ podmínka splněná \rightarrow vyhovuje

Čep v bodě B:

Čep v bodě B je nejdůležitějším na celém pákovém mechanismu. Musí být schopen přenést síly F_0 a F_1 . Na Obr. 21 jsem zaznačil uložení čepu, samotný čep je na Obr. 22. Pro tento čep jsem zvolil materiál 11 600. Tento materiál je vhodný pro strojní součásti, které budou vystavené velkému měrnému tlaku, jako tomu jsou například čepy, pera nebo ozubené hřebeny.

Ve výpočtu na kontrolu čepu budu vycházet ze součtu sil, které mohou vzniknout na pákovém mechanismu a čep ji musí být schopen přenést.

Mohu se přiklonit na stranu bezpečnosti a součet sil, které vzniknou na pákovém mechanismu, vynásobím koeficientem bezpečnosti k_1 . Po konzultaci a domluvě s firmou byla velikost koeficientu bezpečnosti k_1 zvolená na 1,6. Tím daný čep bude předimenzován.

Data podléhají utajení a jsou k dispozici u vedoucího bakalářské práce doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Obr. 21 Umístění čepu B

Data podléhají utajení a jsou k dispozici u vedoucího bakalářské práce doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Obr. 22 Čep v bodě B

Kontrola na stříh:

$$\tau_{SB} = \frac{(F_0 + F_1) \cdot k_1}{S} \quad (8)$$

$$\tau_{SB} = \frac{(F_0 + F_1) \cdot k_1}{\frac{\pi \cdot d_{\check{c}b}^2}{4}}$$

$$\tau_{SB} = \frac{(491 + 1\,228) \cdot 1,6}{\frac{\pi \cdot 8^2}{4}} = 54,72 \text{ MPa}$$

$$\tau_{SB} \leq \tau_{Dov} \quad (9)$$

$54,72 \leq 80 \rightarrow \text{podmínka splněna} \rightarrow \text{vyhovuje}$

Kontrola na otláčení:

$$p_b = \frac{\frac{(F_0 + F_1) \cdot k_1}{2}}{b_b \cdot d_{\check{c}b}} \quad (10)$$

$$p_b = \frac{\frac{(491 + 1\,288) \cdot 1,6}{2}}{9 \cdot 8} = 19,1 \text{ MPa}$$

$$p_b \leq p_{D2} \quad (11)$$

$19,1 \leq 140 \rightarrow \text{podmínka splněna} \rightarrow \text{vyhovuje}$

Čep v bodě C:

Pro tento čep jsem taktéž zvolil materiál 11 600, jako tomu bylo u čepu v bodě B. Čepy v bodě B a C jsou totožné. Na Obr. 23 jsem znázornil v jakých místech je uložen čep. Na Obr. 24 je vyobrazen čep v bodě C.

Data podléhají utajení a jsou k dispozici u vedoucího bakalářské práce doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Obr. 23 Umístění čepu C

Data podléhají utajení a jsou k dispozici u vedoucího bakalářské práce doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Obr. 24 Čep v bodě C

Na čep působí síly F_1 a F_2 , pro výpočet je sečtu. Z důvodu bezpečnosti mohu vynásobit součet sil konstantou bezpečnosti k_1 .

Kontrola na stříh:

$$\tau_{SC} = \frac{(F_1 + F_2) \cdot k_1}{S} \quad (12)$$

$$\tau_{SC} = \frac{(F_1 + F_2) \cdot k_1}{\frac{\pi \cdot d_{\check{c}c}^2}{4}}$$

$$\tau_{SC} = \frac{(1\,228 + 404) \cdot 1,6}{\frac{\pi \cdot 8^2}{4}} = 51,95 \text{ MPa}$$

$$\tau_{SC} \leq \tau_{Dov} \quad (13)$$

$51,95 \leq 80 \rightarrow \text{podmínka splněna} \rightarrow \text{vyhovuje}$

Kontrola na otláčení:

$$p_c = \frac{(F_1 + F_2) \cdot k_1}{2 \cdot b_c \cdot d_{\check{c}c}} \quad (14)$$

$$p_c = \frac{(1\,228 + 404) \cdot 1,6}{2 \cdot 9 \cdot 8} = 18,14 \text{ MPa}$$

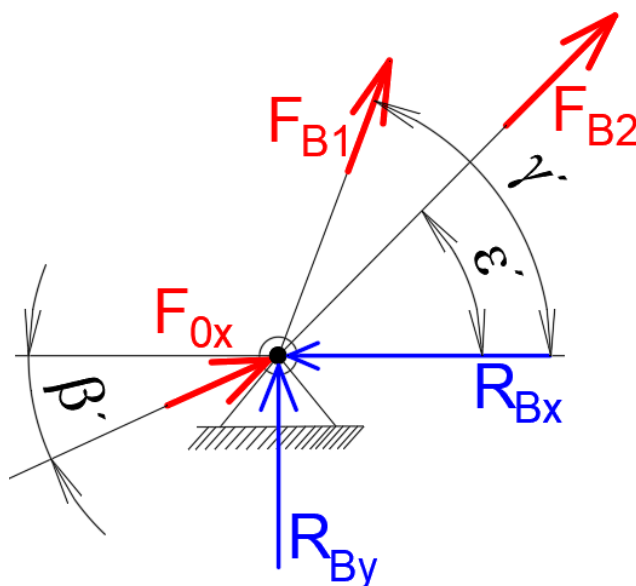
$$p_c \leq p_{D2} \quad (15)$$

$18,14 \leq 140 \rightarrow \text{podmínka splněna} \rightarrow \text{vyhovuje}$

Další variantu, pro výpočet a kontrolu výpočtu navržených čepů, lze použít styčnickovou metodu. Použití této metody je možné jen v případě, že je celá soustava pevná. Model bych si převedl na zjednodušenou prutovou konstrukci. Tomu odpovídá Obr. 25.

Data podléhají utajení a jsou k dispozici u vedoucího bakalářské práce doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Dále bych ve výpočtu pokračoval tak, že bych číselně vyjádřil reakce. Jako tomu je např. v bodě B znázorněno na Obr. 26.



Obr. 26 Aplikace styčnickové metody v bodě B

Rovnice rovnováhy v jednotlivých osách:

$$\sum F_{ix} = 0 = F_{0x} \cdot \cos \beta' + F_{B1} \cdot \cos \gamma' + F_{B2} \cdot \cos \epsilon' - R_{Bx} \quad (16)$$

$$R_{Bx} = F_{0x} \cdot \cos \beta' + F_{B1} \cdot \cos \gamma' + F_{B2} \cdot \cos \epsilon'$$

$$\sum F_{iy} = 0 = F_{0x} \cdot \sin \beta' + F_{B1} \cdot \sin \gamma' + F_{B2} \cdot \sin \epsilon' + R_{By} \quad (17)$$

$$R_{By} = -F_{0x} \cdot \sin \beta' - F_{B1} \cdot \sin \gamma' - F_{B2} \cdot \sin \epsilon'$$

Výsledná reakce:

$$R_B = \sqrt{R_{Bx}^2 + R_{By}^2} \quad (18)$$

Výsledná síla by pro mě znamenala kritickou sílu, kterou bych použil pro kontrolu čepu.

4.2 Uložení vlnovců

Z důvodu, že se na stroji budou kalibrovat vlnovce různých rozměrů a parametrů vlnovce, je stroj opatřen tzv. maticemi, které jsou vyobrazeny na Obr. 27. Matrice slouží pro správné založení vlnovců do stroje. Na čelní ploše jsou opatřeny vyměnitelnými deskami, které slouží pro vlnovec jako opěrná základna během kalibrace. Deska má přesné rozměry jako vlnovec, aby bylo docíleno dokonalého uložení vlnovce.

Data podléhají utajení a jsou k dispozici u vedoucího bakalářské práce doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Obr. 27 Matrice bez čelních desek

Uložení za pomoci matic je velmi výhodné (Obr. 29). Hlavní výhodou, použití matic, je flexibilita, kdy jsou během krátké chvíle matrice vyměněny, a tím je stroj připraven na kalibraci vlnovců, např. s jiným průměrem. Tato výhoda, ve flexibilitě, se může z počátku zdát jako výhoda. Z ekonomického pohledu tomu tak už nemusí být. Je totiž nutné, ke každému druhu vlnovce, který se bude dále kalibrovat, na stroji zajistit sadu matic pro daný druh vlnovce.

K zajištění matic, proti samovolnému vypadnutí matic ze stroje při rozevírání, slouží dvoupolohová hřídel, která je ze dvou stran vyfrézovaná na určitou tloušťku. Dvoupolohová hřídel je zobrazena na Obr. 28. Zajištění matrice pomocí dvoupolohové hřídele probíhá pouze otáčením hřídele o 90°. Krajní polohy hřídele jsou vymezeny pomocí polohovacího kamene. Aretace polohovacího kamene je prováděná pomocí šroubu.

Data podléhají utajení a jsou k dispozici u vedoucího bakalářské práce doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Obr. 28 Zajištění matric

Data podléhají utajení a jsou k dispozici u vedoucího bakalářské práce doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

br. 29 Spodní čelist stroje

Kalibrace vlnovců je proces, při kterém je vlnovec roztahován a stlačován ve své ose. Jak jsem již v mé práci zmiňoval, tento proces má pozitivní vliv na odstranění vnitřního pnutí ve vlnovci. V poslední fázi procesu je vlnovec stlačen na požadovanou délku. Po ukončení procesu je nutné, aby všechny vlny na vlnovci měly stejné tvary a rozměry. Proto je nutné zajistit, aby se oba konce vlnovce pohybovaly současně v ose vlnovce.

Data podléhají utajení a jsou k dispozici u vedoucího bakalářské práce doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Obr. 30 Pravá hlava stroje

Z tohoto důvodu je zapotřebí použití dvou hlav (Obr. 31), které budou usazeny na jedno lineární vedení. Pohon pro každou hlavu bude zajišťován pomocí elektromotorů. Rotační pohyb od elektromotoru bude převáděn pomocí kuličkového šroubu s maticí na lineární pohyb ve směru vedení.

Data podléhají utajení a jsou k dispozici u vedoucího bakalářské práce doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Obr. 31 Návrh konceptu stroje

Při použití stroje, pouze s jednou pohyblivou částí (hlavou Obr. 30) a druhou částí nepohyblivou, by docházelo k nerovnoměrné kalibraci vlnovců. Přední vlny na vlnovci by byly mnohem více stlačeny než vlny na konci vlnovce. Místo konstantního zvlnění by docházelo k progresivnímu zvlnění. Na Obr. 32 je znázorněn vlnovec před a po kalibraci.

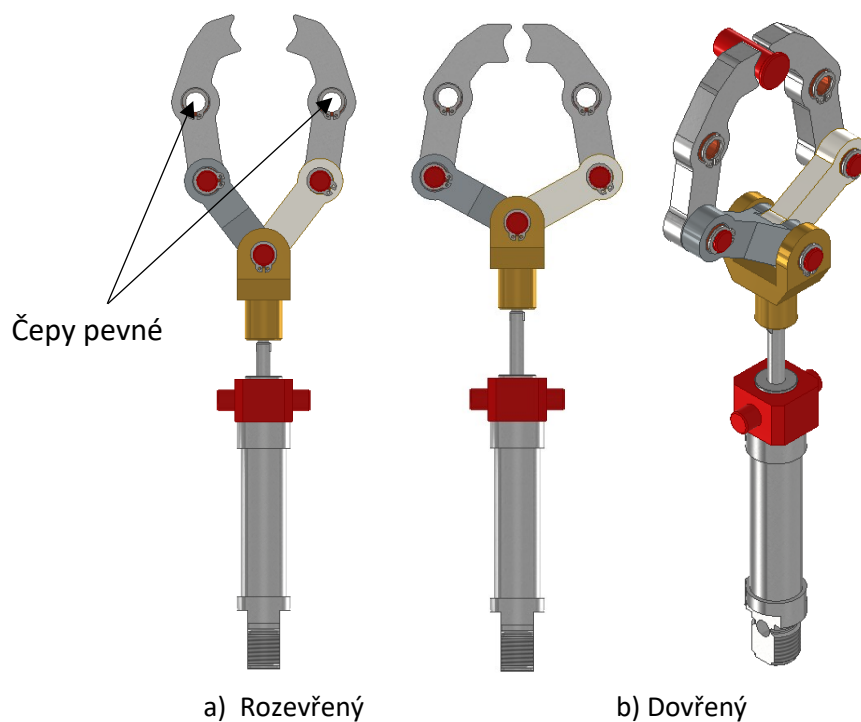


Obr. 32 Vlnovec před kalibrací a po kalibraci

4.3 Mechanismus dovření

V této části mé práce se budu věnovat konstrukčním návrhům mechanismu dovření čelistí. Jak jsem se zmiňoval v mé práci výše, mechanismus musí být schopen obě čelisti k sobě dovřít a tím vymezit vůli mezi čelisti, která by se negativně projevovala na kalibrovaných vlnovcích.

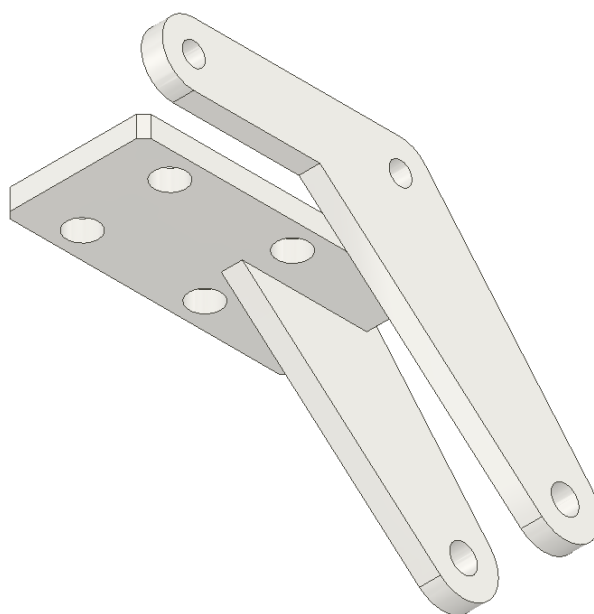
Při prvním návrhu jsem se nechal inspirovat principem stahováku na ložiska. Tento princip jsem přepracoval na pákový mechanismus, který je na konci zakončen rameny. Na konci ramen je přesná geometrie (Obr. 39), aby s postupným pohybem mechanismu byl čep dokonale sevřen a tlačěn směrem dolů. Mechanismus je zobrazen na Obr. 33.



Obr. 33 Jednotlivé fáze klešťového mechanismu

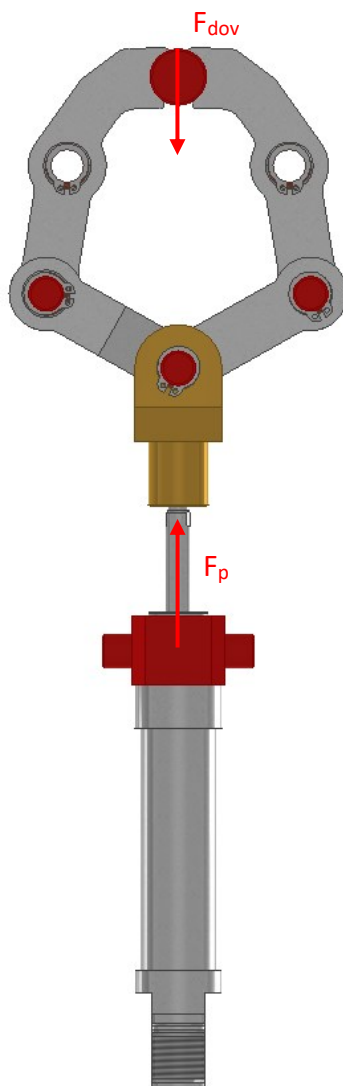
Celý mechanismus bude upevněn na pevných čepích, které by v případě volby pro tento návrh byly připevněny pomocí svařování na spodní čelist. Všechny čepy jsou zajištěny proti uvolnění v ose pomocí pojistných kroužků ČSN 02 2930. Abych co nejvíce snížil tření na jednotlivých čepích, osadil jsem čepy kluznými ložisky ČSN 9349 (Obr. 38 na str. 40).

Pro ukotvení vzduchového válce jsem návrh konzoli (Obr. 34), která bude připevněná pomocí šroubu na spodní část základní desky.



Obr. 34 Konzole pístu

Kladné stránky klešťového mechanismu jsou: 1) Horní čelist je dotahovaná směrem dolů, síla, kterou je čelist dovíraná prochází osou vzduchového válce. Tomu odpovídá Obr. 35. 2) Díky své konstrukci je velmi rychlá a snadná montáž, či demontáž, vyměnitelnost jakéhokoliv článku v mechanismu.



Obr. 35 Naznačení síly při zavírání kleští

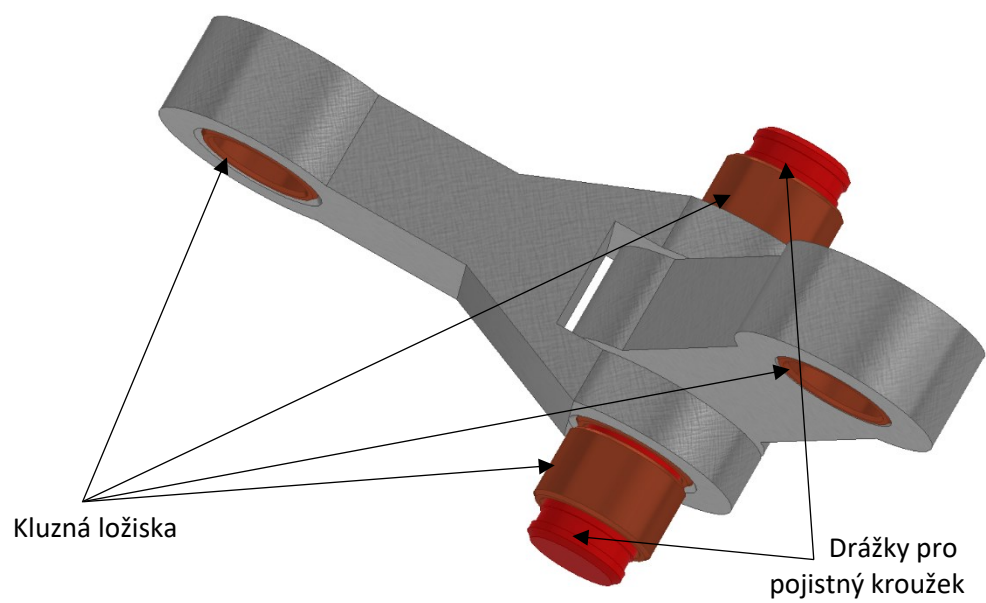
Negativní stránky klešťového mechanismu: 1) Složitost mechanismu, 2) z ekonomického hlediska příliš nákladné na výrobu, 3) největší nevýhoda tohoto řešení je jeho zástavba prostoru. Z důvodů dalších technických prvků, které budou umístěny ze spodní strany základní desky (Obr. 36), jako tomu může být např. lineární vedení, kuličkový šroub, senzorová technika, rám stroje, není možné, aby byl vzduchový válec umístěn v tomto prostoru. Na Obr. 37 jsem znázornil klešťový mechanismus v poloze před zahájením dovírání čelistí.

Data podléhají utajení a jsou k dispozici u vedoucího bakalářské práce doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

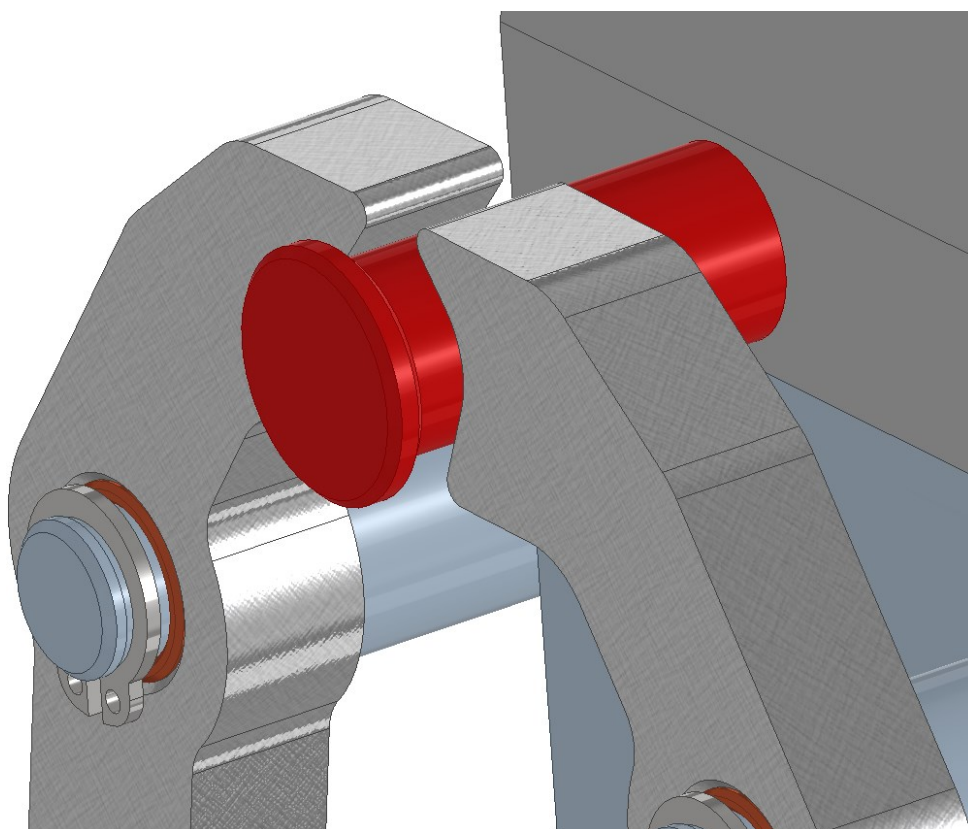
Obr. 36 Detailní zobrazení mechanismu při dovření

Data podléhají utajení a jsou k dispozici u vedoucího bakalářské práce doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Obr. 37 Klešťový mechanismus



Obr. 38 Uložení hlavního čepu mechanismu

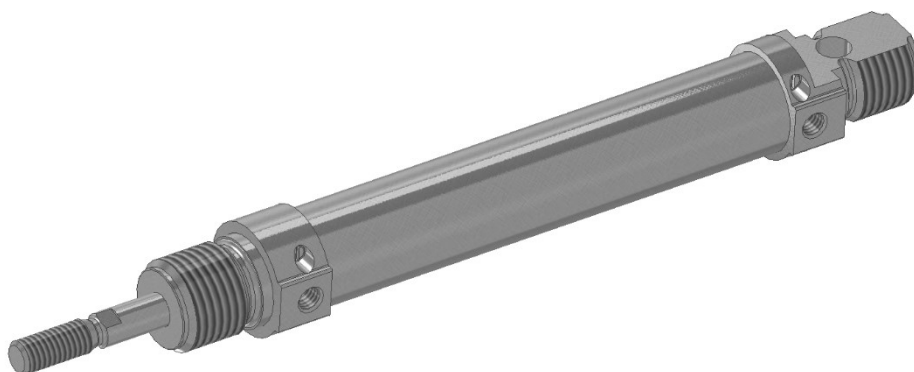


Obr. 39 Detail zobrazení zakončení ramen mechanismu

Při vypracovávání druhého návrhu jsem se snažil navrhnout mechanismus, který bude velice jednoduchý a pohon mechanismu by se nedostal do střetu s již z výše zmíněnými technickými prvky. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl vzduchový válec umístit tak, že osa vzduchového válce je rovnoběžně s boční hranou základní desky, kde následně bude ukotven pomocí konzole. Jak je znázorněno na Obr. 40. Po konzultaci se firma rozhodla pro tento návrh. Z tohoto důvodu se v mé práci podrobněji zaměřím na tento návrh a podložím jej výpočty.

Data podléhají utajení a jsou k dispozici u vedoucího bakalářské práce doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Obr. 40 Upevnění vzduchového válce na stranu



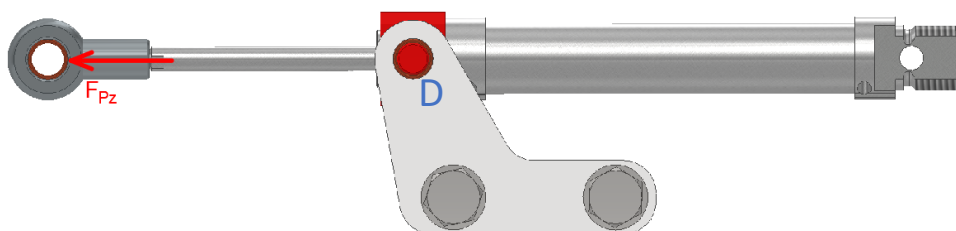
Obr. 41 Vzduchový válec DSNU-16-55-PPV [22]

Pro pohon mechanismu dovření jsem zvolil vzduchový válec DSNU-16-55-PPV od firmy FESTO. Pneumatický obvod, který jsem navrhl v kapitole 3.1 Pohon a pákový mechanismus, aplikuji i na pohon mechanismu dovření. Vzduchový válec DSNU-16-55 PPV je také dimenzován na maximální tlak 1 MPa. Základní parametry vzduchového válce jsem uvedl do Tab. 3.

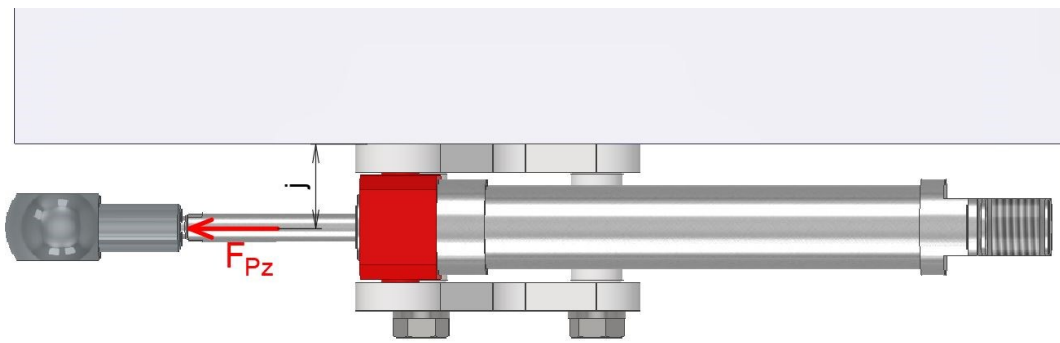
Tab. 3 Parametry pístu dovření [22]

Vzduchový válec FESTO DSNU-16-55-PPV		
Průměr vzduchového válce	$\varnothing D_{P2}$	16 mm
Průměr pístnice	$\varnothing d_{P2}$	6 mm
Zdvih pístu	L_{P2}	55 mm
Maximální tlak	P_{Max2}	1 MPa
Maximální síla vzduchového válce	F_{Max2}	201 N

Na Obr. 42 jsem znázornil sílu vyvolanou vzduchovým válcem F_{Pz} , na Obr. 43 jsem znázornil ohybový moment, který vzniká od síly F_{Pz} .



Obr. 42 Síla vyvolána vzduchovým válcem



Obr. 43 Ohybový moment od síly F_{Pz}

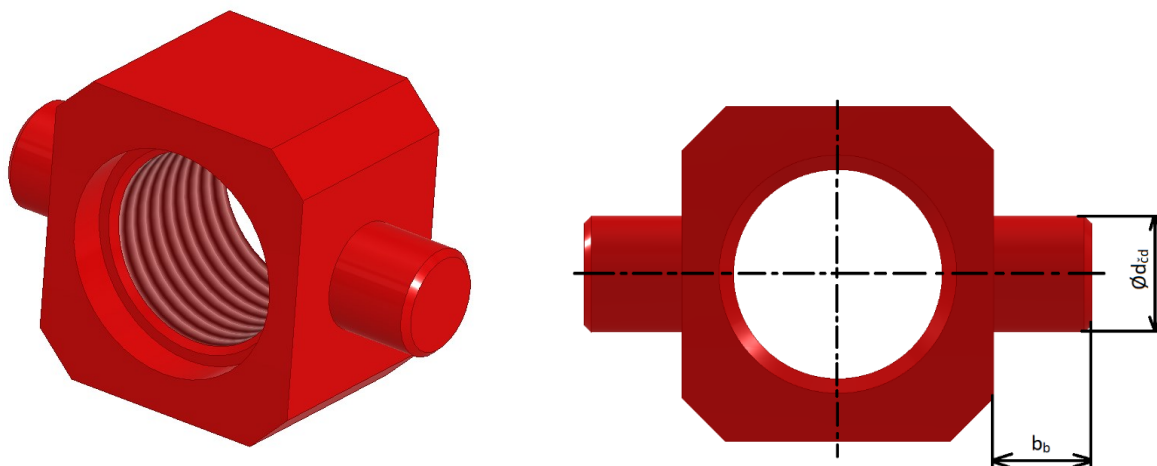
Výpočet síly vzduchového válce mechanismu dovření:

Ze vztahu (1) si vyjádřím sílu F_{Pz} :

$$F_{Pz} = S \cdot p_{kom} = \frac{\pi \cdot D_{P2}^2}{4} \cdot p_{kom}$$

$$F_{Pz} = \frac{\pi \cdot 16^2}{4} \cdot 1 = 201 \text{ N}$$

Uložení pístu jsem provedl pomocí matice (Obr. 44), která je našroubovaná na vzduchový válec. Na čepy jsem umístil kluzná ložiska ČSN 9349 pro snížení tření. Celá matice se vzduchovým válcem je vložena do konzole pro vzduchový válec. Čepy v bodě D na matici musí být schopné sílu od vzduchového válce F_{Pz} bezpečně přenést. Hodnoty dovolených napětí jsou vypsány v Tab. 3 na straně 16.



Obr. 44 Uložení vzduchového válce

Kontrola na střih:

$$\tau_{SD} = \frac{F_{Pz}}{S} \quad (19)$$

$$\tau_{SD} = \frac{F_{Pz}}{\frac{\pi \cdot d_{\check{c}d}^2}{4}}$$

$$\tau_{SD} = \frac{201}{\frac{\pi \cdot 8^2}{4}} = 4 \text{ MPa}$$

$$\tau_{SD} \leq \tau_{Dov} \quad (20)$$

$4 \leq 60 \rightarrow \text{podmínka splněna} \rightarrow \text{vyhovuje}$

Kontrola na otláčení:

$$p_d = \frac{\frac{F_{Pz}}{2}}{b_d \cdot d_{\check{c}d}} \quad (21)$$

$$p_d = \frac{\frac{201}{2}}{6,8 \cdot 8} = 1,85 \text{ MPa}$$

$$p_d \leq p_{D2} \quad (22)$$

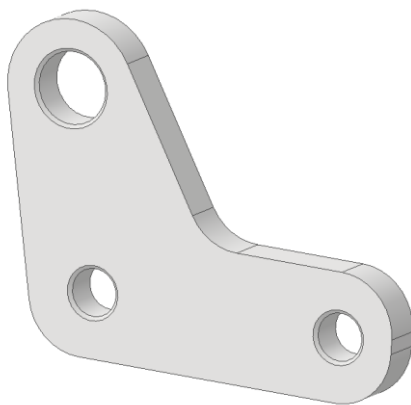
$$1,85 \leq 110 \rightarrow \text{podmínka splněná} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Konec pístnice vzduchového válce je osazený táhlem (Obr. 45), které přenáší sílu vyvinutou vzduchovým válcem na další komponenty. Táhlo je našroubováno na pístnici.



Obr. 45 Táhlo na pístnici

Na Obr. 44 jsou zobrazeny komponenty, ze kterých je konzole složená. Tyto komponenty jsou dva stejné profily a dvě distanční trubky. Celá konzole je ukotvená pomocí šroubového spoje na boční straně základní desky, je zobrazeno na Obr. 46.

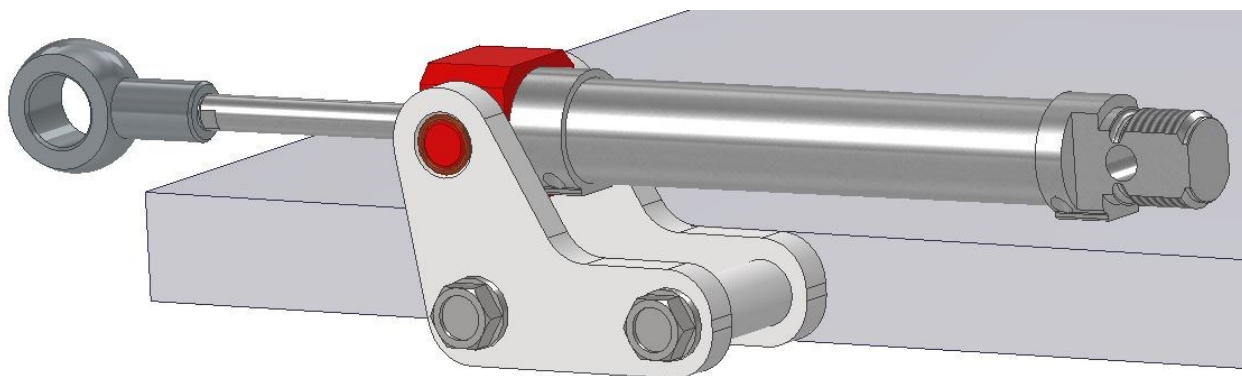


Profil



Distanční kroužek

Obr. 46 Jednotlivé části konzoly



Obr. 47 Konzole pístu

Šrouby pro upevnění konzoly jsem zvolil M6 s třídou pevnosti 9.8 dle ISO 898-1 (Tab. 4). Parametry šroubu jsem vypsál do Tab. 5.

Tab. 4 Třídy pevnosti dle ISO 898-1 [25]

Třída pevnosti	R_e [MPa]	R_m [MPa]
3.6	180	300
4.6	240	400
4.8	320	400
5.6	300	500
5.8	400	500
6.8	480	600
8.8	640	800
9.8	720	900
10.9	900	1 000
12.9	1 080	1 200

Tab. 5 Přehled parametrů šroubu M6 9.8

Parametry šroubu M6 9.8	
Závit	M6
Průměr d_3	4,773 mm
Stoupaní závitu	1
Mez kluzu R_e	720 MPa
Mez pevnosti R_m	900 MPa

Při kontrole šroubu považuji kritickou sílu, kterou dokáže vyvinout vzduchový válec při maximálním tlaku, na který je válec dimenzován.

Kontrola šroubu konzoly na střih:

$$\tau_{Sšk} = \frac{F_{Pz}}{S} \quad (23)$$

$$\tau_{Sšk} = \frac{F_{Pz}}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}}$$

kde – d_3 je malý průměr závitu M8

$$\tau_{Sšk} = \frac{201}{\frac{\pi \cdot 4,773^2}{4}} = 11,24 \text{ MPa}$$

Kontrola šroubu konzoly na ohyb:

$$\sigma_{ošk} = \frac{M_o}{W_o} \quad (24)$$

kde – W_o je průřezový modul v ohybu

$$\sigma_{ošk} = \frac{F_{Pz} \cdot j}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{32}}$$

$$\sigma_{ošk} = \frac{201 \cdot 17,5}{\frac{\pi \cdot 4,773^3}{32}} = 329 \text{ MPa}$$

Výsledné redukované napětí dle HMH:

$$\sigma_{Red šk} = \sqrt{\sigma_{ošk}^2 + 3 \cdot \tau_{sšk}^2} \quad (25)$$

$$\sigma_{Red} = \sqrt{329^2 + 3 \cdot 11,24^2} = 330 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Dov} = \frac{R_e}{k} \quad (26)$$

kde – R_e je mez kluzu materiálu

k je součinitel bezpečnosti, volí se mezi $1,5 \div 5$

$$\sigma_{Dov} = \frac{720}{2} = 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Red šk} \leq \sigma_{Dov} \quad (27)$$

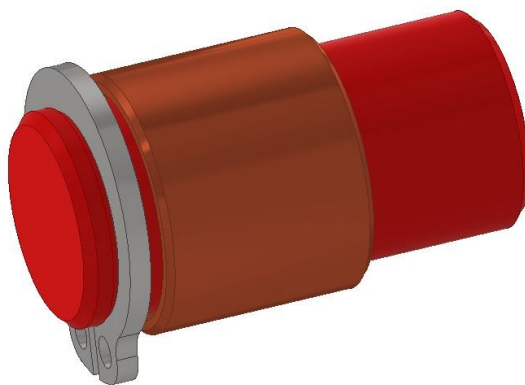
$$330 \leq 360 \rightarrow \text{podmínka splněná} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Dovření čelistí jsem v tomto návrhu vyřešil pomocí pojistného háku na principu páky. Čím větší silou bude působit pístnice vzduchového válce na čep pojistného háku, tím bude vznikat větší přitlačná síla na čep v horní čelisti. Díky geometrii a rotačního pohybu háku dojde k dotáhnutí horní čelisti na dosedací plochy dolní čelisti. Hák je zobrazen na Obr. 48. Pro uložení táhla pístu je hák osazený čepem, který je svařen k háku



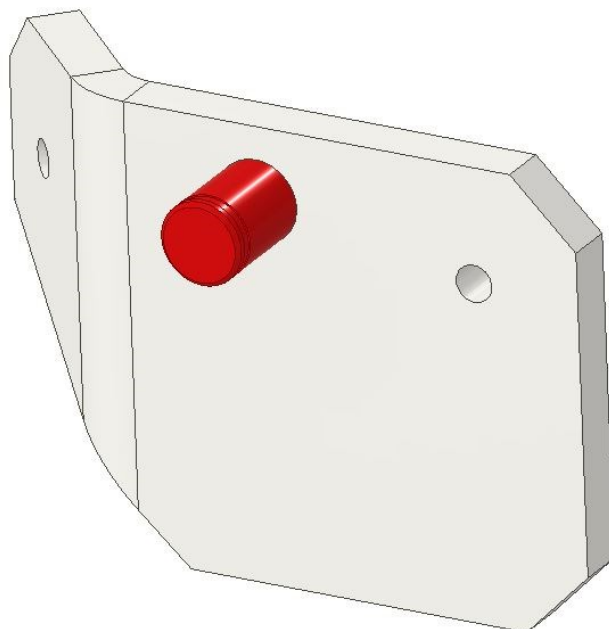
Obr. 48 Pojistný hák

Hák je nastrčen na čep, na který jsem umístil kluzné ložisko ČSN 9349, abych tím snížil tření mezi hákem a čepem a také zamezil z velké části opotřebení čepu a háku. Na konec čepu jsem navrhl drážku pro pojistný kroužek, abych tak zajistil táhlo pístu (Obr. 49).



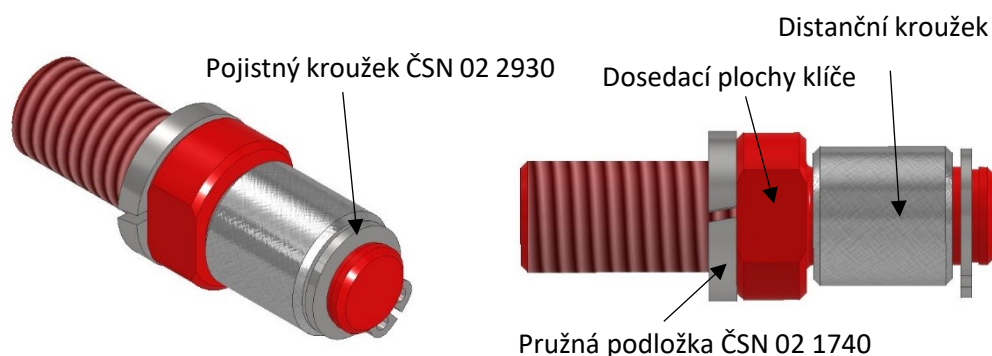
Obr. 49 Čep háku

Pro připevnění háku s čepem k spodní čelisti, jsem navrhl desku z 6 mm plechu, který tvoří základnu mechanismu. Do desky je zapuštěn čep, který je následně pomocí svařování spojen s deskou. Deska kopíruje tvar přední plochy spodní čelisti (Obr. 50). Tím jsem vytvořil řešení pro prostor ukotvení desky do spodní čelisti. Pro ukotvení jsem zvolil dva šrouby M4 4.8.



Obr. 50 Deska s čepem

Další komponent dovíracího mechanismu je čep, který je umístěn v horní čelisti. Čep je na konci opatřen závitem. Válcovou plochu jsem osadil dvěma dosedacími plochami, kdy za použití nástrčného klíče je čep našroubován a dotažen. Dále jsem na čep umístil distanční kroužek, který je uložen s vůlí, aby se při dovírání mohl otáčet kolem své osy, a tak snížil tření a opotřebení. Distanční kroužek jsem zajistil pojistným kroužkem. Tomu odpovídá Obr. 51. Jednotlivé polohy dovíracího mechanismu jsem zobrazil na Obr. 52 a 53.



Obr. 51 Čep v horní čelisti

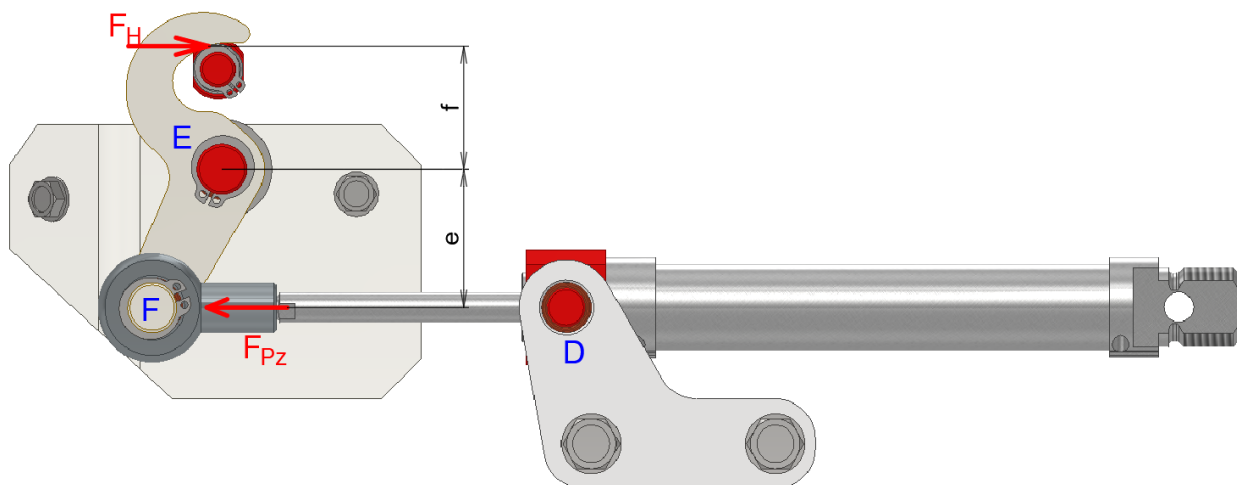
Data podléhají utajení a jsou k dispozici u vedoucího bakalářské práce doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Obr. 52 Mechanismus dovření v krajní poloze

Data podléhají utajení a jsou k dispozici u vedoucího bakalářské práce doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Obr. 53 Mechanismus dovření v krajní poloze-dovřeno

Jak jsem již zmínil, hák je na pákovém mechanismu a při dovírání je nutné, aby na čep v horní čelisti působilá maximální síla. Na Obr. 54 jsem naznačil síly, které působí v mechanismu.



Obr. 54 Náčtr sil v mechanismu

Výpočet síly F_H :

$$F_{Pz} \cdot e = F_H \cdot f \quad (28)$$

$$F_H = \frac{F_{Pz} \cdot e}{f}$$

$$F_H = \frac{201 \cdot 27,5}{25} = 221 \text{ N}$$

Na čep v bodě E působí síly F_{Pz} a F_H , při kontrole čepu v bodě E budu považovat kritickou sílu, součet sil F_{Pz} a F_H . Z důvodu akce a reakce hák působí na čep (akce) silou a čep působí stejně velkou silou v opačném směru (reakce). Protože čep bude svařován s deskou, volím materiál čepu 11 423. Hodnoty dovolených napětí jsou vypsány v Tab. 2.

Pro kontrolu jsem záměrně zvolil čep v bodě E, protože zatížení je v tom místě maximální na smyk a ohyb.

Kontrola na stříh:

$$\tau_{SE} = \frac{(F_{Pz} + F_H)}{S} \quad (29)$$

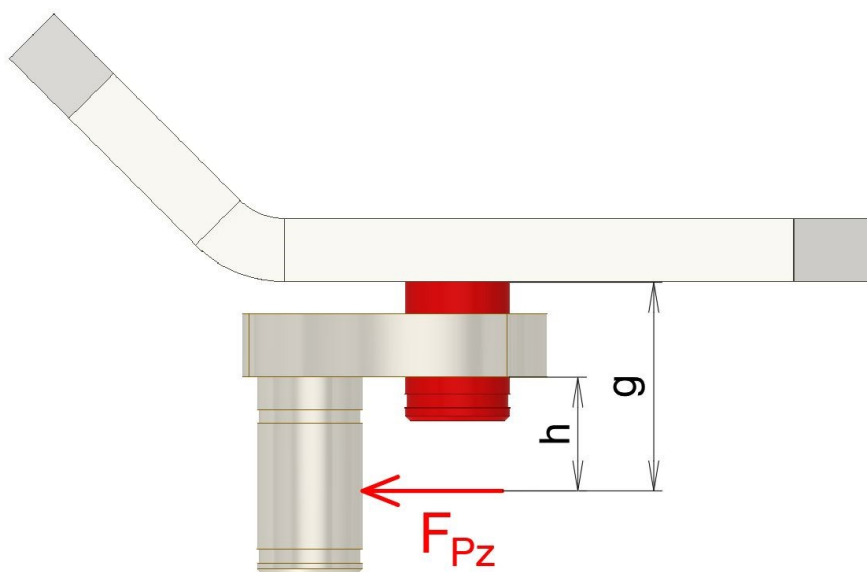
$$\tau_{SE} = \frac{(F_{Pz} + F_H)}{\frac{\pi \cdot d_{ce}^2}{4}}$$

$$\tau_{SE} = \frac{(201 + 221)}{\frac{\pi \cdot 10^2}{4}} = 5,37 \text{ MPa}$$

$$\tau_{SE} \leq \tau_{Dov} \quad (30)$$

$5,37 \leq 60 \rightarrow \text{podmínka splněná} \rightarrow \text{vyhovuje}$

Na čep v bodě E také působí ohybový moment od síly F_{Pz} na rameni g. Působíště ohybového momentu jsem znázornil na Obr. 55.



Obr. 55 Působící ohybový moment

Kontrola na ohyb:

$$\sigma_{oE} = \frac{M_o}{W_o} \quad (31)$$

kde – W_o je průřezový modul v ohybu

$$\sigma_{oE} = \frac{F_{Pz} \cdot g}{\frac{\pi \cdot d_{\check{c}e}^3}{32}}$$

$$\sigma_{oE} = \frac{201 \cdot 19,5}{\frac{\pi \cdot 10^3}{32}} = 39,92 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{oE} \leq \sigma_{Dov} \quad (32)$$

$$39,92 \leq 80 \rightarrow \text{podmínka splněná}$$

Výsledné redukované napětí podle HMH:

$$\sigma_{Red E} = \sqrt{\sigma_{oE}^2 + 3 \cdot \tau_{SE}^2} \quad (33)$$

$$\sigma_{Red E} = \sqrt{39,92^2 + 3 \cdot 5,73^2} = 41,14 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Dov} = \frac{R_e}{k} \quad (34)$$

kde – R_e je mez kluzu materiálu 11 423

k je součinitel bezpečnosti, volí se mezi 1,5÷5

$$\sigma_{Dov} = \frac{226}{2} = 113 \text{ MPa}$$

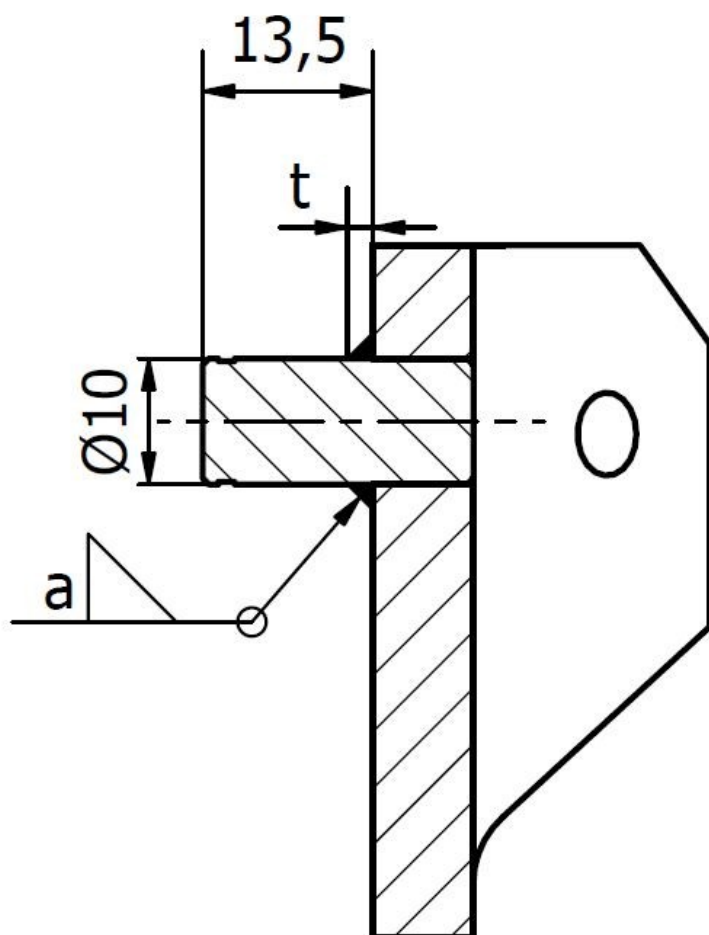
$$\sigma_{Red E} \leq \sigma_{Dov} \quad (35)$$

$$41,14 \leq 113 \rightarrow \text{podmínka splněná} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Velikost svaru jsem zvolil po konzultaci s firmou a = 3 mm z důvodu, že čep je zapuštěn v desce, a tím pádem svar není namáhán na smyk ani na ohyb, protože veškeré síly zachytí čep jen tím, že je zapuštěn do desky. V tomto případě, svar zajišťuje čep v dané pozici. V případě, že svar nepřenáší zatížení, není nutné svar pevnostně kontrolovat. Přesto jsem se rozhodl svar zkontrolovat na smyk a ohyb, a to z jednoho důvodů, a to nepřesnost výroby. Za předpokladu, že čep bude uložen s vůlí přesahující vůli předepsanou na technické dokumentaci. Svar bude

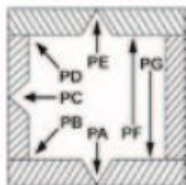
namáhat na zmíněné zatížení. Proto jsem provedl kontrolu svaru. Umístění svaru jsem znázornil na Obr. 56 a 58.

Jak jsem se zmínil na str. 47, čep v bodě F bude svařen k tělu háku. Velikost svaru jsem taktéž zvolil $a = 3 \text{ mm}$.



Obr. 56 Obvodový svar kolem čepu E

Svařovací metodu jsem zvolil svařování kovů v ochranné atmosféře (MIG/MAG). S chemickým složením přídatného materiálu jsem se snažil co nejvíce přiblížit chemickému složení základního svařovaného materiálu. Nejvíce totožný přídatný materiál jsem zvolil SW 70S G3 Mec, parametry přídatného materiálu jsou zobrazeny na Obr. 56.



■ SW 70S G3 Mec

- Nelegovaná plná drátová elektroda
- Poměděný, navinutý po vrstvách
- Malý rozstřík díky vysoké chemické čistotě
- Vhodné pro EWM forceArc a coldArc
- Pro průmyslové, řemeslné a opravárenské provozy

Normy

DIN EN ISO 14341-A	G 42 2 C1 / G 42 4 M 21 3 Si1
AWS A-5.18	ER 70S-6
Materiály	1.5125

Chemická analýza

C	Si	Mn	P	S
0.07	0.85	1.45	0.016	0.014

Ochranný plyn

C1 / M21 / M22 - M33

Dilatace, A5 Mez kluzu, Rp 0,2 %

≥20 % ≥420 MPa

Pevnost v tahu, Rm

520 MPa - 640 MPa

Nárazová práce, Av

≥47 J (-40 °C)

Schválení

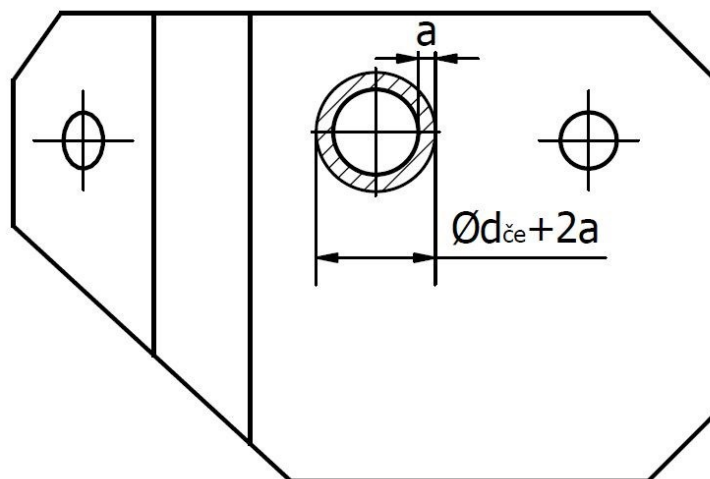
TÜV / DB / CE

Materiály

S185 - S355G1, S255N - S355N, P255NH - P355NH, P235GH - P285NH, P235 - P355T2, 20MnNb6, L210 - L360N

Obr. 57 Charakteristika přídavného svařovacího materiálu [24]

Kritická střížná síla působící na svar je i v tomto případě součet sil F_{Pz} a F_H .



Obr. 58 Sklopená svarová plocha

Kontrola obvodového svaru:

$$\tau_{\perp}^{F_{Pz}} = \frac{(F_{Pz} + F_H)}{S_{SV}} \quad (36)$$

kde – S_{SV} je obsah sklopené svarové plochy

$$\tau_{\perp}^{F_{Pz}} = \frac{(F_{Pz} + F_H)}{\frac{\pi \cdot [(d_{\check{c}e} + 2a)^2 - d_{\check{c}e}^2]}{4}}$$

$$\tau_{\perp}^{F_{Pz}} = \frac{(201 + 221)}{\frac{\pi \cdot [(10 + 2 \cdot 3)^2 - 10^2]}{4}} = 3,44 \text{ MPa}$$

Ze vztahu (37) vypočítám ohybové napětí působící na svar. Maximální ohyb působící na svar je zobrazen na Obr. 55.

$$\tau_{\perp}^{M_o} = \frac{M_o}{W_{oSV}} \quad (37)$$

kde – W_{oSV} je průřezový modul svarové plochy v ohybu

$$\tau_{\perp}^{M_o} = \frac{M_o}{\frac{I_{SV}}{\frac{d_{\check{c}e}}{2} + a}} = \frac{F_{Pz} \cdot g}{\frac{\pi \cdot [(d_{\check{c}e} + 2a)^4 - d_{\check{c}e}^4]}{64}} \cdot \frac{d_{\check{c}e}}{\frac{d_{\check{c}e}}{2} + a}$$

$$\tau_{\perp}^{M_o} = \frac{201 \cdot 19,5}{\frac{\pi \cdot [(10 + 2 \cdot 3)^4 - 10^4]}{64}} \cdot \frac{10}{\frac{10}{2} + 1} = 8,63 \text{ MPa}$$

Pomocí vztahu (38) vypočtu výsledné napětí v svaru.

$$\sigma_{Red E}^S = \sqrt{\left(\frac{\tau_{\perp}^{M_o}}{k_3}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{\perp}^{F_{Pz}}}{k_3}\right)^2} \quad (38)$$

kde – k_3 je převodní součinitel dle ČSN 05 0120, viz. Tab. 6

$$\sigma_{Red E}^S = \sqrt{\left(\frac{8,63}{0,75}\right)^2 + \left(\frac{3,44}{0,75}\right)^2} = 13,39 \text{ MPa}$$

Tab. 6 Velikost převodních součinitelů [22]

Koutový svar		1*	2*	3*
Čelní	k_3	0,75	0,90	1
Boční	k_4	0,65	0,8	0,9

1* platí pro ruční svařování elektrickým obloukem [22]

2* pro oceli o pevnosti 350 až 370 MPa, ruční svařované elektrickým obloukem, pro poloautomatické svařování pod tavidlem a automatické svařování v ochranné atmosféře [22]

3* platí pro automatické svařování pod tavidlem kdy velikost svaru $t < 12 \text{ mm}$ [22]

$$\sigma_{Red E}^S \leq \beta \cdot \sigma_{Dov} \quad (39)$$

kde – β je součinitel tloušťky koutového svaru, součinitel je závislý na tloušťce svaru t (37)

$$t = 1,41 \cdot a \quad (40)$$

$$t = 1,41 \cdot 3 = 4,32 \text{ mm}$$

$$\beta = 1,3 - 0,03 \cdot t \quad \text{pro } t < 10 \text{ [mm]} \quad (41)$$

$$\beta = 1 \quad \text{pro } t \geq 10 \text{ [mm]} \quad (42)$$

Vztah (40) rozhodl, že pro výpočet součinitele tloušťky koutového svaru β je nutné použít vztah (41). Vztah (41) dosadím do vztahu (39).

$$\sigma_{Red E}^s \leq (1,3 - 0,03 \cdot t) \cdot \frac{R_e}{k_s} \quad (43)$$

kde – R_e je mez kluzu základní svařovaného materiálu 11 423

k_s je statická bezpečnost svaru, volí se $k_s \geq 1,5$

$$12,39 \leq (1,3 - 0,03 \cdot 4,32) \cdot \frac{226}{2}$$

$$12,39 \leq 132,26 \rightarrow \text{podmínka splněná} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Protože na čep v bodě E působí maximální zatížení, čep v bodě F propočítám, ale zde uvedu pouze výsledky. Není třeba zde uvádět postup výpočtu, který bych prováděl úplně stejně analogicky jen s nižšími hodnotami.

Na čep v bodě F působí střížná síla od vzduchového válce F_{Pz} a přídatný ohybový moment také od síly F_{Pz} na rameni h (Obr. 55). Musí platit vztah (35). Pro výpočet jsem použil vztahy (29), (30), (31) a (32). Materiál čepu je 11 423 a součinitel bezpečnosti jsem volil $k = 2$.

$$\sigma_{Red F} \leq \sigma_{Dov}$$

$$21,95 \leq 113 \rightarrow \text{podmínka splněná} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Velikost svaru a jsem zvolil $a = 3 \text{ mm}$. Na svar působí smykové napětí a ohybové napětí vyvolané silou F_{Pz} . Musí platit vztah (39). Pro výpočet jsem použil vztahy (36), (37), (38), (40) a (41). Součinitel k_3 jsem volil stejně jako tomu je ve vztahu (38).

$$\sigma_{Red F} \leq \beta \cdot \sigma_{Dov}$$

$$7,71 \leq 132,26 \rightarrow \text{podmínka splněná} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Jak jsem se zmínil na str. 49, deska s čepem bude připevněná pomocí dvou šroubu M4 4.8, pro šroubový spoj je kritická síla od vzduchového válce F_{Pz} při maximálním možném tlaku.

Tab. 7 Přehled parametrů šroubu M4 4.8

Parametry šroubu M4 4.8	
Závit	M4
Průměr d_3	3,141 mm
Stoupaní závitu	0,7
Mez kluzu R_e	320 MPa
Mez pevnosti R_m	400 Mpa

Kontrola šroubu desky na stříh:

$$\tau_{S\check{s}_{deska}} = \frac{F_{Pz}}{S} \tag{44}$$

$$\tau_{S\check{s}_{deska}} = \frac{F_{Pz}}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}}$$

$$\tau_{S\check{s}_{deska}} = \frac{201}{\frac{\pi \cdot 3,141^2}{4}} = 25,94 \text{ MPa}$$

kde – d_3 je malý průměr závitu M4

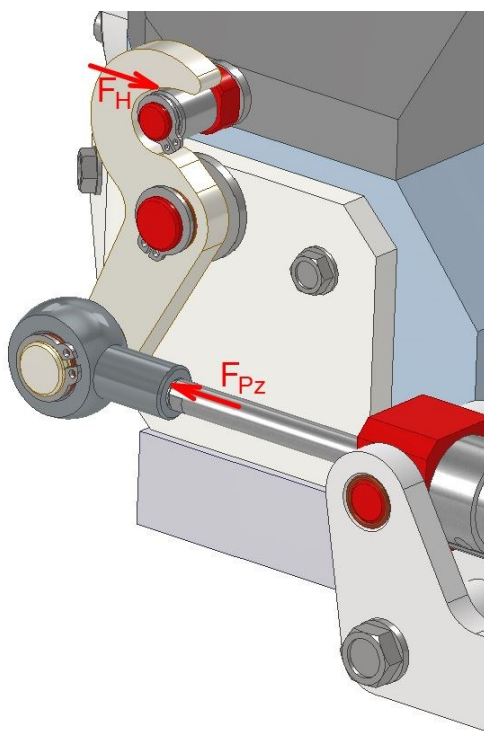
$$\tau_{S\check{s}_{deska}} \leq \tau_{Dov}$$

(45)

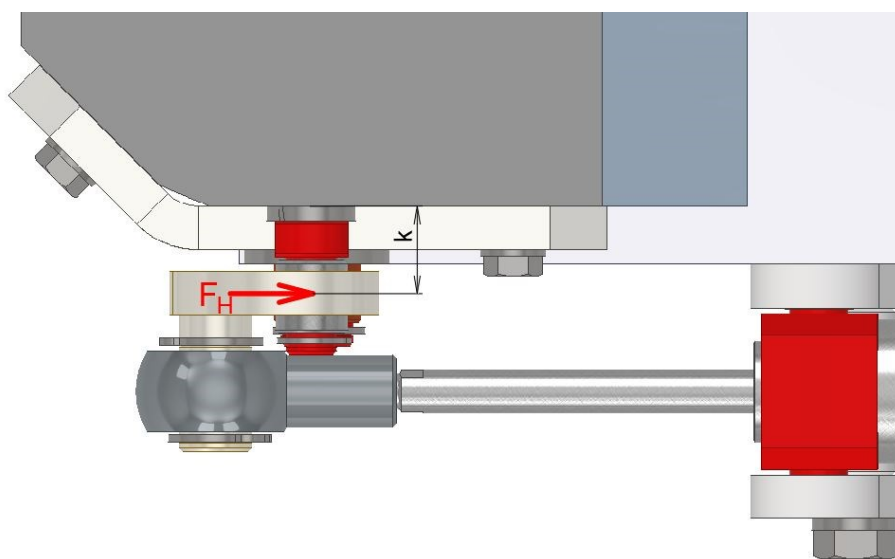
kde – τ_{Dov} se u ocelových šroubu volí $\tau_{Dov} = 50 \div 70 \text{ MPa}$ [20]

$25,94 \leq 50 \rightarrow \text{podmínka splněná} \rightarrow \text{vyhovuje}$

V této části práce se budu zabývat kontrolou čepu, který je uložen v horní čelisti. Na Obr. 59 je zobrazená síla F_H , která působí na čep. Na Obr. 60 je znázorněný ohybový moment působící na čep.



Obr. 59 Síla působící na čep v horní čelisti



Obr. 60 Ohybový moment od síly F_H

Jak jsem se zmínil na str. 49, čep je opatřen závitem, velikost závitu jsem zvolil M8. Na závit působí ohybový moment od síly F_H , kritický průměr čepu je d_3 . Materiál čepu volím 11 600, z Tab. 2 dovolené ohybové napětí materiálu $\sigma_{Dov} = 120 \text{ MPa}$.

Kontrola na ohyb čepu:

$$\sigma_{oH} = \frac{M_o}{W_o} \quad (46)$$

kde – W_o je průřezový modul v ohybu

$$\begin{aligned} \sigma_{oH} &= \frac{F_H \cdot k}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{32}} \\ \sigma_{oH} &= \frac{221 \cdot 12}{\frac{\pi \cdot 6,466^3}{32}} = 100 \text{ MPa} \\ \sigma_{oH} &\leq \sigma_{Dov} \end{aligned} \quad (47)$$

$$100 \leq 120 \rightarrow \text{podmínka splněná} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Ze vztahu (47) se může na první pohled zdát, že ohybové napětí působící na čep je vysoké. Je třeba si uvědomit, že při provozním tlaku nenastane takové napětí. Tohle napětí se může objevit jen v extrému, a to navýšení provozního tlaku na tlak maximální. Maximální tlak je tlak kompresoru a zároveň je to i maximální tlak, na který je dimenzován vzduchový válec.

Kontrola na střih:

$$\begin{aligned} \tau_{SH} &= \frac{F_H}{S} \\ \tau_{SH} &= \frac{F_H}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} \end{aligned} \quad (48)$$

kde – d_3 je malý průměr závitu M8

$$\tau_{SH} = \frac{221}{\frac{\pi \cdot 6,466^2}{4}} = 6,73 \text{ MPa}$$

$$\tau_{SH} \leq \tau_{Dov} \quad (49)$$

$$6,73 \leq 50 \rightarrow \text{podmínka splněná} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Výsledné redukované napětí:

$$\sigma_{Red\ H} = \sqrt{\sigma_{oH}^2 + 3 \cdot \tau_{SH}^2} \quad (50)$$

$$\sigma_{Red\ H} = \sqrt{100^2 + 3 \cdot 6,73^2} = 60,92\ MPa$$

$$\sigma_{Dov\ H} = \frac{R_e}{k} \quad (51)$$

kde – R_e je mez kluzu materiálu 11 600

k je součinitel bezpečnosti, volí se mezi $1,5 \div 5$

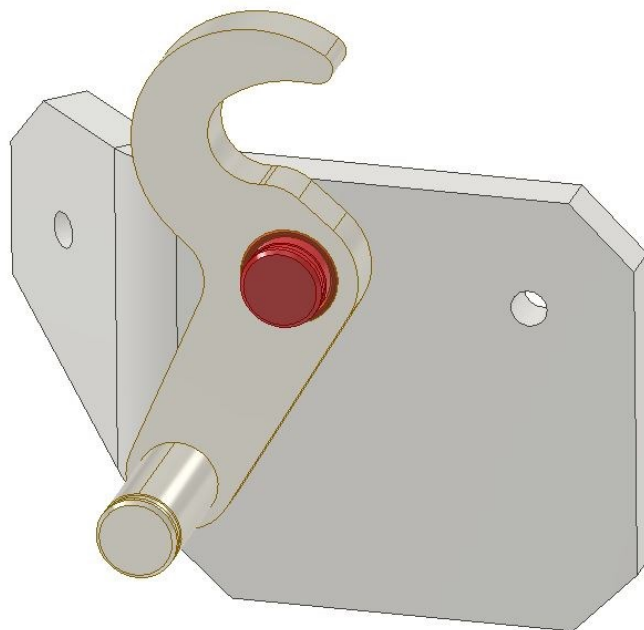
$$\sigma_{Dov\ H} = \frac{325}{2} = 163\ MPa$$

$$\sigma_{Red\ H} \leq \sigma_{Dov\ H} \quad (52)$$

$$100,68 \leq 163 \rightarrow \text{podmínka splněná}$$

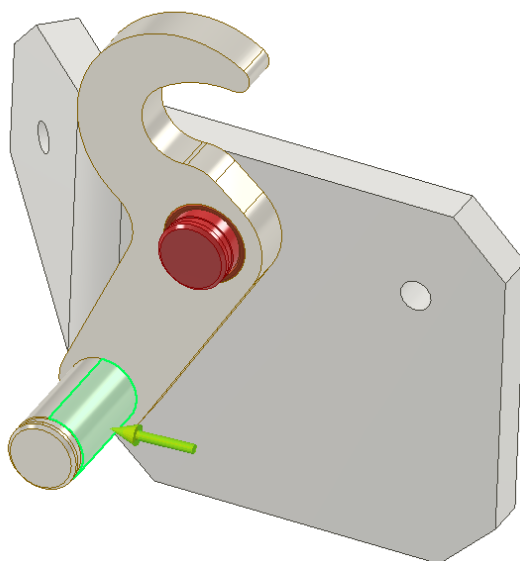
5 Metoda konečných prvků (MKP)

Za pomoci návstavby programu Autodesk Inventor Profesional 2020 provedu pevnostní analýzu. V pevnostní analýze se převedším budu zaměřovat na desku s čepem, kde bude největší zatížení, ale také se zaměřím na tělo háku (Obr. 61).



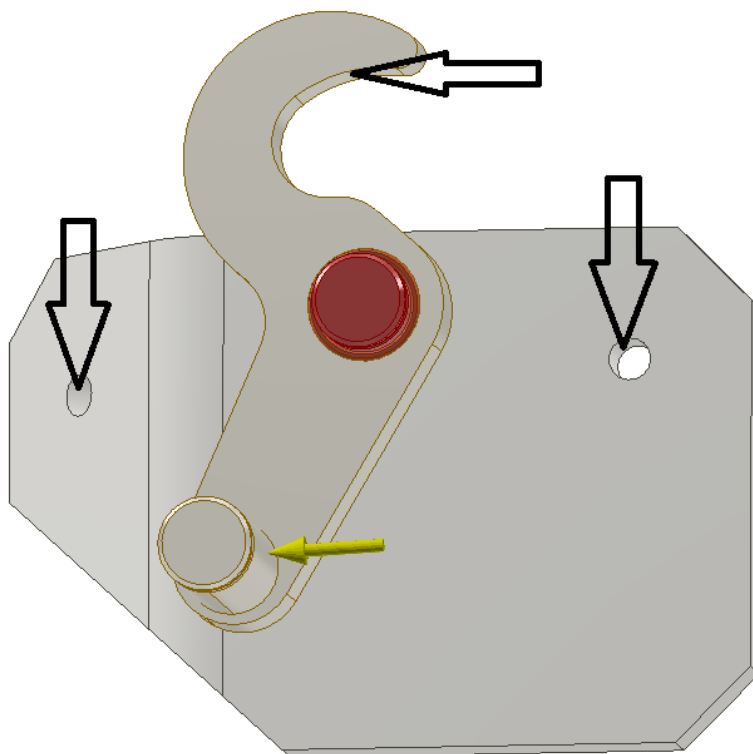
Obr. 61 Kontrolovaná sestava

Na čep háku působí síla od vzduchového válce F_{Pz} . Síla nepůsobí na celou plochu čepu, protože čep je osazený táhlem, které přenáší sílu od vzduchového válce. Při vysouvání pístnice, táhlo vytváří tlak pouze na polovinu plochy čepu. Z tohoto důvodu je zapotřebí plochu čepu rozdělit. (Obr. 62). Táhlo je zobrazeno na Obr. 45. Zatěžující sílu jsem umístil na zvýrazněnou plochu, velikost zatěžující síly je 201 N.



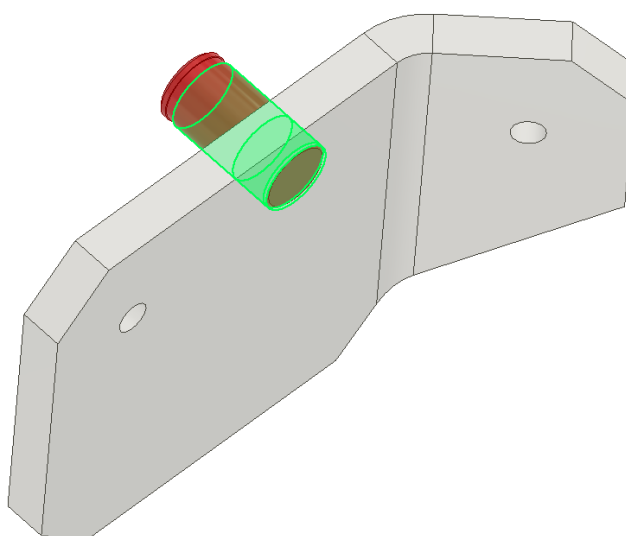
Obr. 62 Rozdělená plocha čepu

Pevné vazby jsem umístil v místě, kde jsou umístěny šrouby. Pro maximální zatížení, které může vzniknout jsem další pevnou vazbu umístil na horní plochu háku, o kterou se hák bude opírat o čep v horní čelisti viz. Obr. 63.



Obr. 63 Umístění pevných vazeb

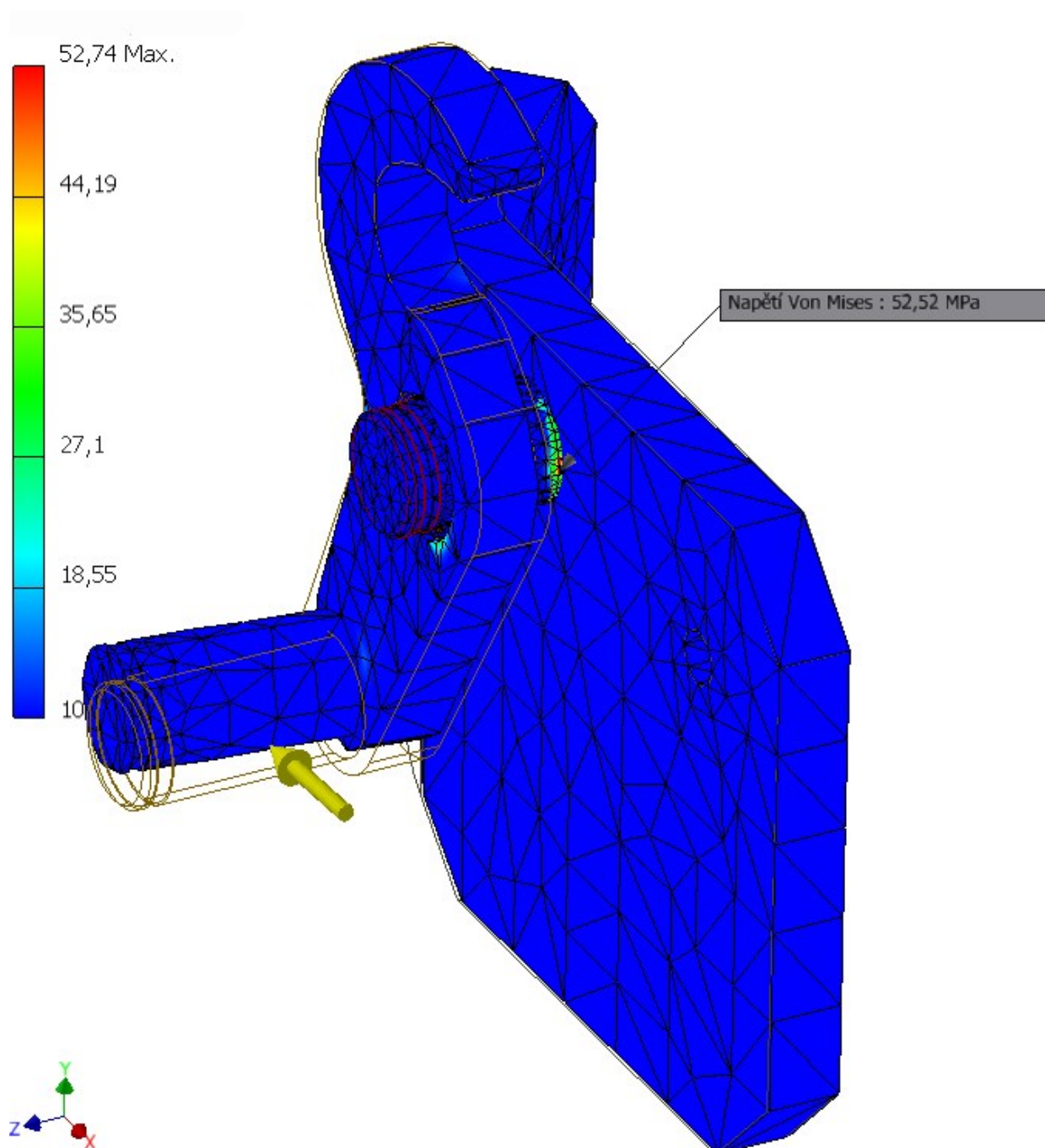
Dotyk vázaný jsem použil mezi čepem a deskou (Obr. 64), protože čep je zapuštěn do desky, tvoří jednu součást.



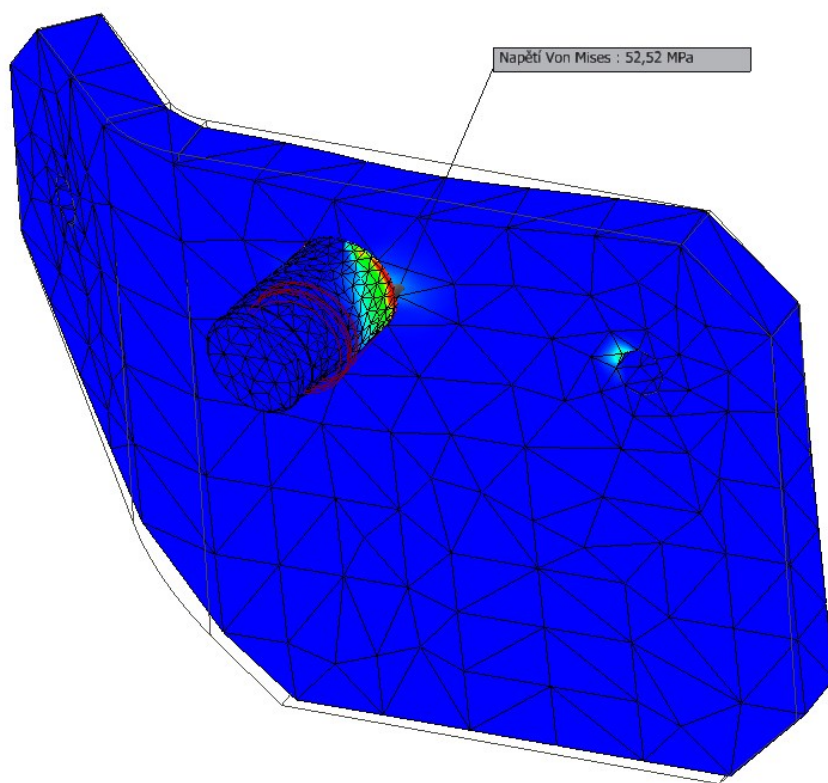
Obr. 64 Vázaný dotyk

Na čep je umístěno kluzné ložisko, které také zahrnu do analýzy. Dotyk mezi ložiskem a čepem jsem zvolil Posouvání/Bez oddělení.

Na Obr. 65 a 66 je zobrazen výsledek pevnostní analýzy. Maximální napětí 52,74 MPa je na zapuštěném čepu desky.

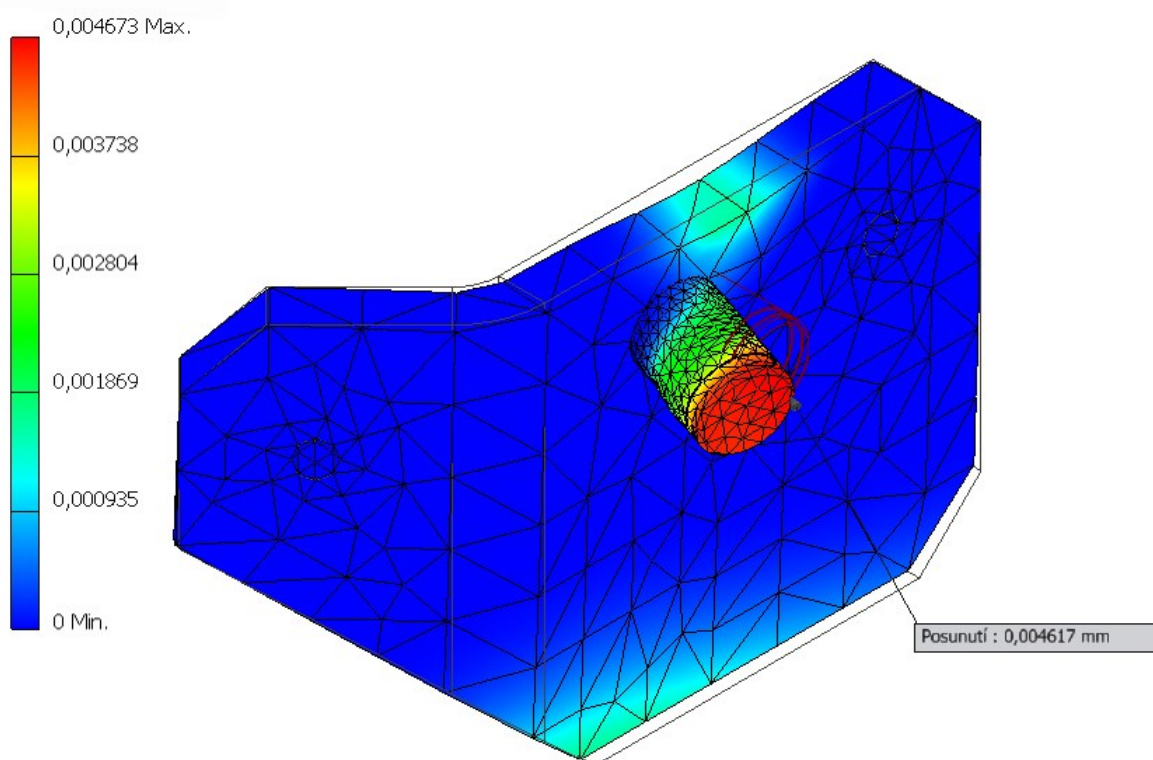


Obr. 65 Výsledek MKP analýzy



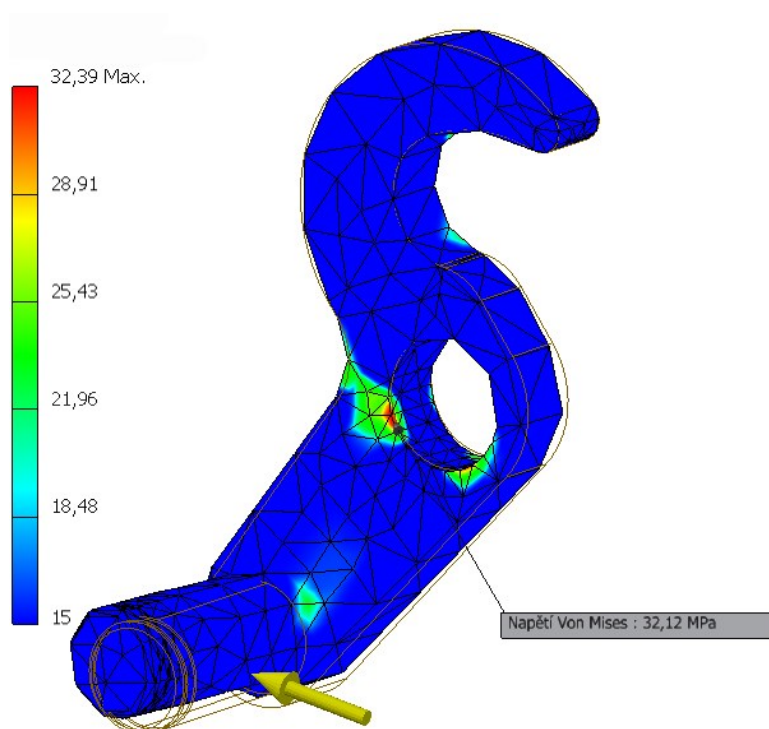
Obr. 66 Zatížený čep

Deformace jsou zobrazeny na Obr. 67. Maximální posunutí je 0,0047 mm.

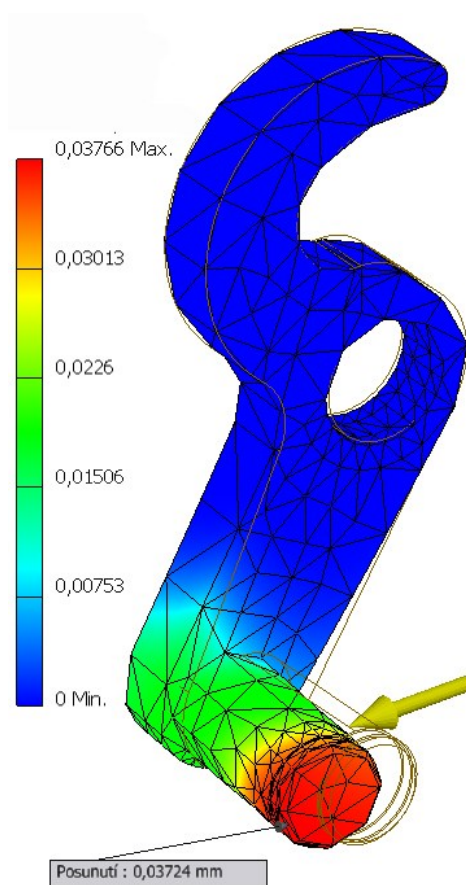


Obr. 67 Deformace čepu

Napětí a deformace na háku jsem zobrazil na Obr. 68 a 69.



Obr. 68 Zatížený hák



Obr. 69 Deformace háku

Z výsledku pevnostní analýzy je vidět, že maximální napětí je na zapaštěném čepu. Materiál háku, čepu a desky je 11 423. Maximální napětí má hodnotu 52,74 MPa, mez kluzu materiálu 11 423 R_e = 225 MPa. Na základně výsledku pevnostní analýzy a mezí kluzu mohu konstatovat, že mnou navržená deska, čep a hák jsou nadimenzovány a nedojde k trvalé deformaci, protože maximální napětí je mnohem nižší, než je mez kluzu.

6 Závěr

Má práce se skládá hned z několika částí. V první části jsem se zaměřil na vypracování rešerše, která se zabývá problematikou vlnovců. Na začátku rešerše jsem shrnul vlastnosti vlnovců, v další části rešerše se věnuji metodě Hydroformování, která slouží k výrobě tvarově složitých trubek, jako tomu může být u vlnovec, touto metodou lze vyrábět i tvarově složité plechy, např. karoserie automobilů. V poslední části rešerše jsem se ponořil do vlastností vlnovců, uplatnění a využití jejich vlastností v praxi, např. vlnovcové spojky, měch atd.

Cílem mé práce bylo navrhnout mechanismus, který bude zajišťovat dokonalé sevření čelistí a tím vymezit vůli mezi čelistmi. Z tohoto důvodu jsem vypracoval dva konstrukční návrhy, ze kterých si firma vybrala jeden. Vybraný návrh jsem podložil pevnostními výpočty.

V prvním návrhu jsem sestavil klešťový mechanismus na principu pákového mechanismu. Díky geometrii ramen je zaručené přesné sevření čepu. Jako velkou výhodu mechanismu vidím, že síla, kterou je čep v horní čelisti přitahován (dovírán ke spodní čelisti), je v ose pístnice, dalo by se říct, že na horní čelist působí síly pouze kolmé. Na uložení horní čelisti a na samotnou čelist nepůsobí boční síly. Velkou nevýhodou toho řešení je v zástavbě prostoru pod úrovní základní desky.

Druhý návrh jsem se snažil co nejvíce zjednodušit, ale hlavním úkolem bylo navrhnout mechanismus, kde by vzduchový válec byl umístěn na boční stranu základní desky. Podařilo se mi zkonstruovat jednoduchý mechanismus, ale také vyřešit umístění vzduchového válce tak, aby svou zástavbou zabral co nejméně volného prostoru. K dovírání čelisti slouží pojistný hák, který je umístěn na čep, o který se otáčí. Háček při otáčení díky své geometrii tlačí na čep v horní čelisti a tím jsou obě čelisti dovřeny a zároveň zajištěny. Firma se rozhodla pro volbu tohoto návrhu. Z tohoto důvodu jsem návrh podložil pevnostními výpočty a technickou dokumentací. Technickou dokumentaci jsem vypracoval dle návyku, podle kterých se ve firmě vytváří technická

dokumentace. Pro výrobu složitějších tvarů nebo například výpalky, které se vypalují pomocí CNC plazmové řezačky se rozměry křivek odvodí (převzaty) z 3D modelů.

Na závěr jsem provedl pevnostní analýzu MKP za pomoci Autodesk Inventor 2020.

7 Seznam příloh

Výrobní výkresy:

STE0414_V_01	Deska mechanismu
STE0414_V_02	Čep desky
STE0414_V_03	Pojistný hák
STE0414_V_04	Táhlo pístu
STE0414_V_05	Válec táhla
STE0414_V_06	Táhlo pístu – svarek
STE0414_V_07	Čep horní
STE0414_V_08	Distanční kroužek čepu
STE0414_V_09	Distanční trubka
STE0414_V_10	Konzole pístu
STE0414_V_11	Matice pístu
STE0414_V_12	Deska mechanismu – svarek
STE0414_V_13	Čep háku
STE0414_V_14	Hák – svarek
STE0414_V_15	Spodní pravá čelist – UTAJENO
STE0414_V_16	Základní deska

Sestavný výkres:

STE0414_S_01	Mechanismus dovření – UTAJENO
--------------	-------------------------------

8 Seznam použité literatury

- [1] ŘÍHÁČEK, Jan. *VYUŽITÍ HYDROFORMINGU PŘI VYTVÁŘENÍ STRUKTUROVANÉHO POVRCHU SOLÁRNÍHO PANELU* [online]. Brno, 2017 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=159960. Dizertační práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Doc. RNDr. Libor Mrňa, Ph.D.
- [2] Kapalina jako tvářecí medium. *MMspektrum* [online]. Praha: MM Průmyslové spektrum, 2019 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/kapalina-jako-tvareci-medium.html>
- [3] KAČÍREK, David. *OPTIMALIZACE PROCESNÍCH PARAMETRŮ PRO LASEROVÉ SVAŘOVÁNÍ TENKOSTĚNNÝCH POLOTOVARŮ Z NEREZAVĚJÍCÍ OCELI* [online]. BRNO, 2016 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/59717/2016_DP_Kacirek_David_145069.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Doc. RNDr. Libor Mrňa, Ph.D.
- [4] OCELÍK, Jakub. *STROJ PRO HYDROFORMING TRUBEK Z NEŽELEZNÝCH KOVU* [online]. Brno, 2012 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/9309/DP%20Jakub%20Ocelik.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.
- [5] VYCHOPEŇ, Petr. *Hodnocení kvality nerezového vlnovce* [online]. Brno, 2016 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=127186. Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Doc. Ing. Róbert Jankových, CSc.
- [6] VALÍK, Michal. *MĚŘENÍ DÉLKOVÉ A OBJEMOVÉ TUHOSTI OCELOVÝCH VLNOVCŮ* [online]. Brno, 2014 [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30293891.pdf>. Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Doc. Ing. IVAN MAZŮREK, CSc.
- [7] Types of Metallic Bellows Deflections. *U.S. Bellows, inc.* [online]. San Diego: U.S. Bellows, 2002, 2018 [cit. 2020-03-21]. Dostupné z: http://www.usbellows.com/literature/bellows_deflections.html
- [8] STEHLÍK, Vojtěch. *Experimentální měření vlnovce a konstrukce experimentálního přípravku* [online]. Praha, 2017 [cit. 2020-03-21]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/73362/F2-DP-2017-Stehlik-Vojtech-DP_STEHLIK_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Prof. Ing. Vojtěch Dýnbyl, Ph.D.

-
- [9] METAL BELLOWS COUPLINGS. *RW-Couplings* [online]. Wörth am Main: R + W Antriebselemente, 2020 [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: <https://www.rw-couplings.com/products/precision-couplings/metal-bellows-couplings/>
- [10] RŮŽIČKA, Ladislav. Nejen retro z kvasinské automobilky. In: *Orlický týdeník* [online]. A-PRESS, 2020, 2017 [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <http://www.orlickytidenik.cz/fotosloupek-nejen-retro-z-kvasinske-automobilky/>
- [11] Sheet metal hydroforming. In: *Inoxveneta* [online]. Vittorio Veneto TV, Italy: Inoxveneta, 2020 [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <http://www.inoxveneta.it/en/sheet-metal-hydroforming/>
- [12] Exhaust muffler shell. In: *Shiloh* [online]. Valley City, USA: Corporate Headquarters, 2020 [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://shiloh.com/media/image-gallery/exhaust-muffler-shell-675x450/>
- [13] Turbocharger Supply. In: *Continental industry* [online]. ContiTech, 2020 [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://www.continental-industry.com/en/Solutions/Fluid-Handling/Passenger-Cars/Powertrain/Turbocharger-Supply>
- [14] The definite tubular hydroforming guide. In: *Mills products* [online]. Athens, USA: Mills products, 2020 [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://millsproducts.com/hydroforming-guide/>
- [15] Tube hydroforming. In: *Inoxveneta* [online]. Vittorio Veneto TV, Italy: Inoxveneta, 2020 [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <http://www.inoxveneta.it/en/tube-hydroforming/>
- [16] Pružný díl výfuku BOSAL. In: *Pema autodily* [online]. Ostrava: KVIKYMART, 2020 [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: https://www.autodily-pema.cz/pruzny-dil-vyfuku-bosal-265327?gclid=Cj0KCQjw09HzBRDrARIsAG60GP8LkZSIFQr5IBLA3T4rSYC8uI0aUAuSf8TI05YUzhLUIU6Pjs5GAplaAs3iEALw_wcB
- [17] Vlnovce vzduchového pružení. In: *Trelleborg Bohemia* [online]. Hradec Králové: Sherwood, 2016 [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://www.rubena.eu/cz/produkty/vzduchove-pruzeni-silove-prvky/vlnovce-vzduchoveho-pruzeni/>
- [18] Vlnovce vzduchového pružení. In: *Trelleborg Bohemia* [online]. Hradec Králové: Sherwood, 2016 [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://www.rubena.eu/cz/produkty/vzduchove-pruzeni-silove-prvky/vlnovce-vzduchoveho-pruzeni/>
- [19] Spojky pro malé momenty i pro těžký provoz. *Digitovarna.cz* [online]. 2015, **2015**(7), 4 [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <http://www.digitovarna.cz/clanek-84/spojky-pro-male-momenty-i-pro-tezky-provoz.html>
- [20] KALÁB, Květoslav. *Interaktivní multimediální PDF Teorie + Projekty* [online]. Ostrava, 2016 [cit. 2020-04-28]
-

-
- [21]Motor Vw Transporter T5 2,0 TDI CFC CFCA. In: *Sbazar.cz* [online]. Praha: Seznam.cz, 2020 [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://www.sbazar.cz/autodily.jk/detail/40636517-motor-vw-transporter-t5-20-tdi-cfc-cfca>
- [22]Kruhové válce DSNU, metrické. *FESTO* [online]. Praha: Festo, 2020 [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_DSNU
- [23]ČSN - přehled chemického složení ocelí. *Ripra, s.r.o* [online]. WebNode [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://pdms-help.webnode.cz/news/csn-prehled-chemickeho-slozeni-oceli/>
- [24]PŘÍDAVNÉ, POMOCNÉ A NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY [online]. Mündersbach: EWM, 2017 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.ewm-group.com/cs/fachwissen/zusatzwerkstoffe.html>
- [25]Elektromagnetický řídicí ventil 5/2. In: *RS-Online* [online]. Varšava: RS Components Sp. z o.o., 2020 [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://cz.rs-online.com/web/p/pneumaticke-solenoidove-ridici-regulacni-ventily/1752116/>
- [25]Mechanické vlastnosti šroubů. *Killich* [online]. Pardubice: eBRÁNA, 2020 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://www.killich.cz/stranky/technicke-info/ocelovy-spojovaci-material/mechanicke-vlastnosti-sroubu>